manual de operação e manutenção de poços

ANTONIO FERRER JORBA

GERÔNCIO ALBUQUERQUE ROCHA

3ª Edição

SÃO PAULO, DEZEMBRO DE 2007

Governo do Estado de São Paulo
José Serra

Secretaria de Saneamento e Energia
Dilma Seli Pena

Departamento de Águas e Energia Elétrica
Ubirajara Tannuri Felix

Diretoria de Recursos Hídricos
Eliseu Itiro Ayabe

Rua Boa Vista, 170 - 7º andar - Tel. (0xx11) 3293.8539
01014-000 - São Paulo - Centro

São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 3ª ed.
Manual de operação e manutenção de poços, por
Gerôncio Albuquerque Rocha e Antonio Ferrer Jorba.
São Paulo, 1982 II,
96 p. ilustrações, gráficos e tabelas, 210 x 279 mm

Bibliografia no final da obra.

1. Poços – Manutenção
2. Poços – Operação
3. Poços - Manual

I. Rocha. Gerôncio Albuquerque, colab.
II. Jorba. Antonio Ferrer, colab.

CDD 551.49 – 17ª
CDU 628.112.2

Publicação editada com recursos financeiros do FEHIDRO - Fundo Estadual de Recursos Hídricos

Tiragens:
1ª edição: 1980 - 600 exemplares (xerox)
2ª edição: 1982 - 2000 exemplares
3ª edição: 2007 - 2000 exemplares

Esta edição é dedicada à memória de Antonio Ferrer Jorba, co-autor do trabalho, que em vida foi exemplo de dedicação profissional e de desprendimento na disseminação de sua experiência técnico - científica. É o reconhecimento e a homenagem dos funcionários do Serviço de Águas Subterrânea do Departamento de Águas e Energia Elétrica.

(1982)

APRESENTAÇÃO

A partir de 1972, o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo intensificou suas atividades no campo de águas subterrâneas com a realização de estudos hidrogeológicos regionais e a perfuração de poços profundos experimentais.

Os resultados desse trabalho sistemático são apreciáveis e hoje as avaliações hidrogeológicas são bem mais seguras, o projeto e a execução de poços profundos seguem orientação técnica bastante aprimorada.

Entretanto, sente-se ainda a falta de uma atuação metódica quanto à operação e manutenção de poços profundos, prevalecendo ainda medidas de caráter corretivo e de emergência, quando da iminência do colapso do abastecimento de água.

Julgou-se pois, oportuna a elaboração deste "Manual de Operação e Manutenção de Poços", cuja primeira versão foi divulgada durante o 1º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, em novembro de 1980.

Face à solicitação que o manual despertou por parte de técnicos e especialistas de todo o Brasil, decidiu-se publicar uma segunda edição (1982), revisada e melhorada com sugestões recebidas, no sentido de torná-lo suporte eficiente para técnicos que cuidam da operação e manutenção de poços profundos.

Decorridos 25 anos, o manual permanece um documento técnico original sobre o assunto com bibliografia carente e esparsa. Daí a oportunidade desta terceira edição fac-similar.

UBIRAJARA TANNURI FELIX
Superintendente - **Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE**

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FORMULÁRIOS

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

1

INTRODUÇÃO

1. OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS DO MANUAL

A situação de carência quase absoluta de subsídios no campo de operação e manutenção de poços, sob a forma de normas ou diretrizes - técnicas, tem sido freqüentemente apontada pelos profissionais e entidades do setor em encontros técnicos, simpósios e congressos. Frente à esta necessidade e, levando em conta a complexidade do assunto e a grande variedade de situações, optou-se pela elaboração de um manual-guia que reunisse as linhas metodológicas de pesquisa e tratamento dos problemas e propusesse critérios e procedimentos a serem adotados, de modo a se constituir em instrumento de efetiva aplicação prática.

O trabalho de elaboração do manual, com as características desejadas, foi dificultado tanto pela inexistência de experiências abrangentes no país, que pudessem servir de referencial, quanto pela insuficiência de material bibliográfico. A bibliografia disponível, apesar de numerosa, ora trata o assunto de forma excessivamente vaga, sem fornecer subsídios para aplicação prática, ora detém-se em aspectos atomizados, tratando-os com detalhe. Visando tratar o assunto com a abrangência requerida e com base na realidade existente, foram feitas visitas técnicas e entrevistas junto a organismos que operam um grande número de poços, recobrindo a região Nordeste e os estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul. Nestes organismos, profissionais experientes (nomeados no final do texto) além de retratarem as diferentes realidades do setor, forneceram valiosas sugestões e subsídios que reduziram o grau de dificuldade na elaboração do manual. Alguns destes subsídios, sob a forma de planilhas e fichas de controle de dados, foram incorporados ao manual, com ligeiras modificações.

O manual segue, em linhas gerais, o esquema conceitual formulado no item 3, estando dividido em quatro capítulos:

I - Introdução

II - Bases de operação

III - Diretrizes de operação

IV - Manutenção

No primeiro capítulo é feito um breve diagnóstico dos problemas ligados à exploração de água subterrânea por poços, em âmbito nacional; faz-se a seguir, uma exposição sobre o significado e o papel que ocupam a operação e a manutenção de poços, que são princípios norteadores na elaboração do manual.

O segundo capítulo trata dos procedimentos necessários para o estabelecimento das condições iniciais de operação regular de um sistema baseado em poços.

O terceiro capítulo contém as diretrizes de operação de poços, incluindo a periodicidade de medidas e coleta de dados, as formas de registro e processamento das informações e orientações gerais para a detecção de problemas.

No quarto capítulo são analisados os problemas mais comuns e freqüentes que ocorrem em poços e nos equipamentos de bombeamento, estabelecendo-se as freqüências de inspeção e controle e apresentando critérios e soluções para os distintos tipos de problemas.

Foram elaborados onze formulários uniformizados, inseridos e explicados no texto, cujo emprego pelos diversos organismos, com as adaptações que se fizerem necessárias, será útil na racionalização das atividades.

O texto ora apresentado, em face às dificuldades apontadas, não é obra definitiva. É, na verdade, uma primeira tentativa que poderá ser melhorada e mesmo modificada em edições futuras, quando houver alguma experiência acumulada em sua aplicação. É necessário, ainda, advertir que os critérios e procedimentos indicados não devem ser tomados como normas rígidas; eles comportam adaptações compatíveis com as particularidades locais e a diversidade de situações.

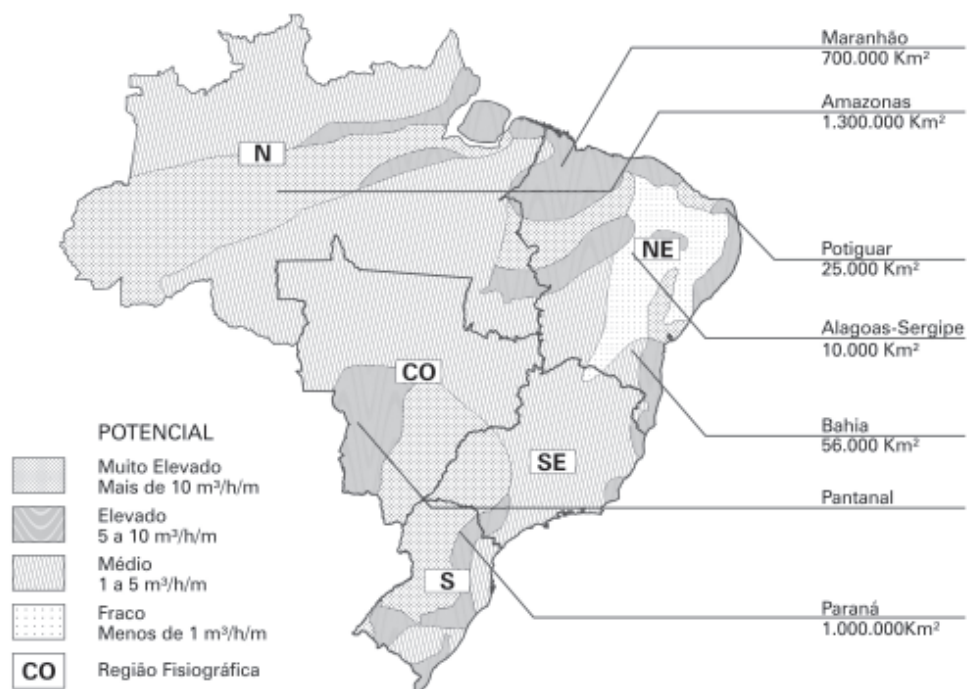
2. BREVE DIAGNÓSTICO

Na última década houve um notável incremento na exploração de água subterrânea no país. Atualmente, avalia-se em 50000 o número de poços tubulares ativos, fornecendo água para os diversos usos, principalmente para abastecimento público. Centenas de núcleos urbanos são hoje abastecidos exclusivamente por água subterrânea, destacando-se cidades importantes como São Luiz, Terezina, Natal, Maceió e Ribeirão Preto. Numerosos centros urbanos e polos agro-industriais contam com sistemas mistos de abastecimento, com utilização da água subterrânea como fonte complementar, tendendo a se converter no manancial prioritário para atendimento da demanda futura.

O quadro geral da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos indica que as melhores rochas aqüíferas ocupam cerca de 40 % do território nacional (Figura nº 1 - Potencialidades médias de água subterrânea no Brasil - segundo Rebouças, 1979). No restante do país predomina a ocorrência de terrenos cristalinos, de fraca vocação hidrogeológica. A pesquisa de água subterrânea a nível regional foi iniciada há 15 anos, justamente neste domínio de terrenos cristalinos, na área do Polígono das Secas, no Nordeste, visando equacionar o problema de relativa escassez de água daquela região semi-árida. Hoje, os levantamentos hidrogeológicos em grande escala estendem-se por quase todas as regiões do país.

A utilização crescente da água subterrânea é, sem dúvida, produto das vantagens que ela apresenta sobre os recursos de superfície e do avanço alcançado nos últimos anos, tanto no conhecimento de suas condições de ocorrência quanto na tecnologia de captação. É sabido que as obras de captação de água por poços via de regra oferecem condições mais vantajosas que a utilização de mananciais de superfície, especialmente para cidades de pequeno a médio porte, visto que:

- na maior parte dos casos, a demanda de água pode ser facilmente atendida por poços;
- os investimentos iniciais são sensivelmente inferiores aos de captação superficial, com possibilidades de escalonamento dos recursos financeiros por etapas;
- os sistemas de captação tem prazos de execução relativamente curtos;
- os mananciais são naturalmente mais bem protegidos dos agentes poluidores.
- a qualidade natural da água extraída quase sempre dispensa tratamento, requerendo somente simples cloração.

potencialidades médias de água subterrânea no brasil (segundo rebouças, 1978)

unidade hidrogeológica	área (km²)	aqüíferos principais	volume armazenado (km³)
rochas cristalinas	5 346 000	zonas de fraturas e/ou alteração	1 650
bacia sedimentar do amazonas	1 300 000	sedimentos terciários e paleozóicos	19 500
bacia sedimentar do maranhão	700 000	formação corda-grajaú formação samanbaiba formação poti-piaui formação cabeças formação s. grande	10500
bacia sedimentar araripe	11 000	formação exu formação missão velha	110
bacia sedimentar potiguar-recife	23 000	formação barreiras formação jandaira formação açu-beberibe	230
bacia sedimentar alagoas-sergipe	10 000	formação barreiras formação marituba	100
bacia sedimentar da bahia	56 000	formação marizal formação são sebastião	840
bacia sedimentar do paraná	1 000 000	formação bauru basaltos formação botucatu	25 000
depósitos diversos	66 000	aluviões dunas terciários	66
totais	**8 512 000**		**57 997**

Todavia, não obstante a importância assumida, a prática de exploração da água subterrânea no país é, ainda, essencialmente predatória, ditada por uma visão imediatista de uso do recurso, sem o correspondente zelo pela conservação dos mananciais e das obras de captação. Dentre os diversos fatores que concorrem para esta situação, podem ser mencionados: a falta de legislação básica que discipline a pesquisa e exploração dos aqüíferos; o estágio ainda incipiente de produção de normas e diretrizes técnicas de projeto e de construção de poços; a insuficiência de pessoal técnico habilitado, em todos os níveis; a falta de aplicação do conhecimento hidrogeológico já existente.

Neste contexto, os principais problemas apresentados pelos poços em exploração, com freqüência generalizada em todas as regiões, decorrem de:

a) deficiências de construção: um grande número de poços, talvez a maioria dos poços existentes, foram construídos sem projeto técnico, carecendo dos requisitos mínimos de uma obra de captação. É comum a ocorrência de passagem de areia em teores excessivos, provocando até mesmo desmoronamento das paredes do poço, devido ao mal dimensionamento de filtros e de material de pré-filtro ou, mesmo, a sua ausência. Cuidados mínimos como a cimentação para proteção sanitária não são obedecidos, vulnerando o perímetro do poço à contaminação;

b) desconhecimento das características técnicas dos poços: os poços mais antigos, executados sem projeto, têm suas características de construção parcial ou totalmente desconhecidas. Ignora-se, muitas vezes, a profundidade total do poço, os diâmetros de perfuração, os materiais atravessados na perfuração e a existência e posição de filtros e tubos de revestimento. Até mesmo os poços mais recentes não têm, via de regra, um cadastro técnico apropriado. Poucas são as firmas que fornecem relatório detalhado de construção de poço;

c) vazão de exploração mal dimensionada: a fixação da vazão a ser explorada do poço geralmente é feita com base em testes de vazão inadequados que não dão, na maioria das vezes, os elementos mínimos para interpretação e determinação das condições limites de exploração. Explora-se o poço com a mesma vazão indicada no “teste” e, com o passar do tempo, aparecem as conseqüências: extração de vazão superior à capacidade do poço, queda dos níveis d’água, queda de produção;

d) mal dimensionamento do equipamento de bombeamento: a confiança cega nos resultados de testes de bombeamento inadequados determina, freqüentemente, mal dimensionamento do equipamento. Escolhe-se a bomba somente com base na vazão indicada pelo teste, sem levar em conta as características técnicas e as perdas de carga do poço;

e) falta de controle da qualidade físico-química da água: o desconhecimento das características físico-químicas da água do aqüífero, antes mesmo da construção do poço, determina em muitos casos deficiências de projeto (especificação de materiais inadequados) que irão influir no desempenho e na vida útil do poço. Efeitos de corrosão ou incrustação nas seções filtrantes e nas tubulações de água são de ocorrência generalizada;

f) inexistência de um serviço permanente de operação e manutenção, capaz de detectar a tempo as causas de deterioração dos poços e aplicar as soluções adequadas. Predominam os serviços extremamente limitados e deficientes, voltados quase que exclusivamente para os aspectos de manutenção e, ainda assim, de tipo corretivo ou emergencial, quando da iminência de paralisação do abastecimento de água.

3. CONCEPÇÃO GERAL DO ASSUNTO

A organização de um serviço permanente de operação e manutenção de poços, em que o acompanhamento sistemático prevaleça sobre a prática aleatória de tipo corretivo ou emergencial, requer a elaboração de programas adequados, com base na uniformização de critérios e procedimentos, na implantação da infra-estrutura necessária e na eficiente articulação das equipes encarregadas.

A operação sistemática é concebida como um processo de obtenção e armazenamento de dados que permitam avaliar o desempenho do sistema aqüífero-poço-bomba ao longo do tempo, em comparação com suas características iniciais. Assim, o conjunto de atividades de operação deve estar orientado para o conhecimento do problema fundamental de exploração de poços, que é o de saber a vazão segura que o aqüífero pode fornecer permanentemente, ao longo dos anos e, em decorrência, otimizar as condições de exploração. A manutenção, por sua vez, consiste em assegurar inspeção regular nos sistemas, efetuar o registro sistemático das condições do poço, equipamentos e materiais em uso, detectar as causas dos problemas e saná-los, de modo a garantir a eficiência e o bom funcionamento dos sistemas.

Operação e manutenção guardam, portanto, uma estreita relação e interdependência: na operação, a análise da massa de dados produzidos serve para detectar os tipos de problemas apresentados pelo sistema, fornecendo subsídios e pistas para sua solução; cabe à manutenção individualizar o problema, identificar suas causas e aplicar a solução adequada. No fluxograma apresentado na Figura n.º 2 - Fluxograma de operação e manutenção de poços - mostram-se, em cada domínio, a seqüência das atividades requeridas e suas relações de dependência e complementaridade.

Para implantar um programa de operação torna-se necessário, numa primeira etapa, reunir todos os dados históricos de cada poço, complementá-los com medidas e testes atuais e fixar as condições de exploração referidas ao ano base de execução do programa. A segunda etapa, que corresponde à programação propriamente dita, consiste em estabelecer a periodicidade de inspeções e medições, os critérios de processamento e avaliação dos dados e a articulação prática com o setor de manutenção. O programa de manutenção preventiva tem como ponto de partida o levantamento dos problemas previsíveis do sistema, cujos indicadores podem ser detectados na fase pré-operatória; estabelece a seguir, a sistemática de execução de medidas, observações e revisões, tanto no poço como no equipamento de bombeamento e prevê a avaliação periódica de desempenho do sistema.

OPERAÇÃO

PRÉ-OPERAÇÃO

- relatório final de poço - localização construção acabamento perfis níveis vazão testes equipamento análises da qualidade da água
- procura de dados ignorados

LEVANTAMENTO E REGISTRO DE DADOS BÁSICOS

RELATÓRIO PADRÃO

- vazão ótima explorável
- perdas eficiência
- hidrodinâmica do aqüífero
- análises físico-químicas
- interpretações

TESTES E ANÁLISES

FICHAS

- reavaliação adaptações
- redimensionamentos
- fixação do regime de exploração

ESTABELECIMENTO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

OPERAÇÃO PROGRAMADA

- medições atividades freqüências
- poço e sistema de bombeamento

PROGRAMA INICIAL

PROGRAMA REVISADO

CONTROLE DIÁRIO — MANUTENÇÃO ?

- vazão níveis volume extraído
- tempo de operação

FICHA DIÁRIA

- revisão fichas diárias
- níveis estático e dinâmico
- represent. gráficas
- teste de bombeamento
- anormalidades

CONTROLE MENSAL — MANUTENÇÃO ?

PROCESSAMENTO DE DADOS

FICHA MENSAL

- estudo e atualização de fichas
- análise físico-química parcial
- interpretações

CONTROLE SEMESTRAL

- síntese de fichas e relatórios
- teste de produção
- análise físico-químicas, bacteriológica completa
- teor de areia
- Q/s - eficiência
- funcionamento do conjunto
- informações à manutenção

CONTROLE ANUAL — MANUTENÇÃO ?

PROCESSAMENTO DE DADOS

FICHA ANUAL

AVALIAÇÃO DO PROGRAMA

SATISFATÓRIO ?

NÃO

SIM

MANUTENÇÃO
PROGRAMA DE MANUTENÇÃO
PROGRAMA REVISADO
- tempo de bombeamento
- volume extraído
- condições de trabalho
- solução de problemas menores
- preench. fichas
CONTROLE DIÁRIO
PROBLEMAS ?
SIM
NÃO
FICHA DIÁRIA
- inspeção do sistema
- revisão de fichas
- diárias (operação e manutenção)
- interpretação dos dados
- solução de problemas
- preench. das fichas de controle mensal
CONTROLE MENSAL
PROBLEMAS ?
SIM
NÃO
FICHA MENSAL
IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS
POÇO
BOMBA
- mecânicos
- hidráulicos
- qualidade da água
- redução da capacidade
- ruídos
- vibrações
IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS
- entupimentos
- prod. areia
- níveis, vazão
- incrustações
- corrosão
- desajustes
- rotores
- eixos, mancais
- volume de ar
- motores
PROCURA E APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES
- atualização e estudo de fichas
- inspeções detalhadas
- serviços de manutenção
CONTROLE SEMESTRAL
- inspeção geral
- limpeza do poço e do equipamento
- revisão de fichas
- teste de eficiência
- interpretação de dados
- serviço de manutenção
- avaliação do comportamento do sistema
CONTROLE ANUAL
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS
PROBLEMAS ?
SIM
NÃO
SATISFATÓRIOS ?
NÃO
SIM
FICHA ANUAL
ATUALIZAR FICHAS
AVALIAÇÃO DO PROGRAMA
DE OPERAÇÃO
NÃO
SATISFATÓRIO ?
SIM
DE OPERAÇÃO

O enlace operação-manutenção é condição básica para garantir a real aplicação dos programas. No caso de haver separação física entre os setores, devido à estrutura do órgão encarregado, deve ser assegurado o fluxo de dados e informações e o acesso a todo o acervo de dados.

2

BASES DE UM PROGRAMA DE OPERAÇÃO

1. ENFOQUE

O manancial, independentemente de sua forma de ocorrência, é o coração de um sistema de abastecimento de água. Seria, pois, de se esperar que tanto as captações de água de superfície quanto as de água subterrânea tivessem controle adequado de operação e manutenção mas, infelizmente, não é o que ocorre. Os sistemas baseados em captação de água superficial são via de regra adequadamente inspecionados e operados, ao passo que os que exploram água subterrânea, através de poços e outras formas de captação, são comumente negligenciados. Quando se trata de poço, geralmente só é dada alguma atenção ao equipamento de bombeamento e, mesmo assim, quando ocorre alguma avaria. Devido ao fato de tanto o poço quanto partes essenciais do equipamento estarem situados abaixo da superfície, vigora nestes sistemas o adágio popular "*o que não é visto não é lembrado*".

O problema de operação de poços deve ser enfocado num domínio apropriado, abrangendo desde as condições de ocorrência e circulação da água subterrânea até as características hidráulicas e de construção do poço. Isto é, a questão mais importante que se deve ter em mente é conhecer a vazão segura que o aqüífero numa determinada área pode fornecer permanentemente, ao longo dos anos, e não só durante um dia, um mês ou um ano. Assim, o objetivo fundamental da operação de poços consiste em estabelecer um programa de obtenção e armazenamento de dados que permitam avaliar o desempenho do sistema aqüífero-poço-bomba ao longo do tempo, em comparação com as características iniciais. O programa deve incluir a coleta de uma variada gama de dados e medidas que, criteriosamente analisados, são de importância inestimável na avaliação do comportamento do aqüífero e do poço com a exploração, na determinação dos volumes produzidos e dos custos de produção da água e na indicação da freqüência adequada de manutenção preventiva do poço e do conjunto motor-bomba.

2. LEVANTAMENTO E REGISTRO DE DADOS BÁSICOS

A organização de um cadastro atualizado e completo dos poços e equipamentos de cada sistema é medida fundamental para o estabelecimento das condições iniciais de uma operação sistemática. O cadastro deve abranger, basicamente, os seguintes blocos de informações:

- relatório final de poço, fornecido pela empresa perfuradora;
- resultados das primeiras análises físico-química e bacteriológica da água;
- características do equipamento de bombeamento e instalações auxiliares.

2.1 Relatório Final de Poço

Um relatório de poço deve ser completo e detalhado, pois é documento básico de referência no acompanhamento do desempenho do poço durante a exploração. O modelo proposto (Formulários n.º 1a e nº 1b - Relatório final de poço e Teste de produção) é resultado de sucessivas experiências de aplicação e reelaboração por parte da equipe técnica do DAEE e consiste de formulários padronizados em três folhas, cada uma delas agrupando em campos apropriados os dados e informações do poço, na seqüência lógica do projeto construtivo, a saber:

relatório final de poço

1 . identificação e localização

região	município		
distrito			
local			
proprietário			
profundidade total (m)			n. poço local
n. poço daee		coord. NS	coord. EO
cota fl. topográfica	cota medida	n. estático	cota NE

Atenção: indicar no croquis poços vizinhos e pontos de poluição (matadouros, fossas, lançamento de esgotos) e respectivas distâncias

2 . construção

início	término	companhia perfuradora		
de (m)	a (m)	sistema	máquina	tipo de lama

perfuração			tubos lisos			filtros			especificação dos materiais
de (m)	a (m)	Ø (mm)	de (m)	a (m)	Ø (mm)	de (m)	a (m)	Ø (mm)	

cimentação						pré-filtro		
de (m)	a (m)	espes. (mm)	vol. cim.	vol. areia	tipo	tipo	Ø médio (mm)	volume (m^3)

3 . perfilagem

de (m)	a (m)	tipo	de (m)	a (m)	tipo

4 . acabamento

desenvolvimento	método	duração (h)	laje de proteção dimensões		
			tubo de recarga de pré-filtro		
			de (m)	a (m)	Ø (mm)

5 .observações gerais

projeto	responsável	data	fiscalização	data

- dados de identificação e localização, incluindo croquis em escala, com indicação de poços vizinhos;
- características de construção: método de perfuração, intervalos e diâmetros de perfuração, posição e diâmetros dos tubos de revestimento e filtros, especificação dos materiais;
- características de acabamento: material de pré-filtro, tipo de cimentação, métodos e duração de desenvolvimento;
- registros elétricos (perfilagens) e observações específicas;
- descrição litológica e perfil geológico;
- perfil construtivo, em escala;
- características do teste de produção: tipo e capacidade da bomba, duração, níveis d'água e vazão, gráficos de representação dos resultados, teor de areia;
- dados interpretados: perdas de carga, vazão específica, tipo de aqüífero captado.

Na implantação do relatório-padrão o órgão encarregado tratará de transpor os dados disponíveis de cada poço para os formulários e manterá entendimento junto às firmas perfuradoras no sentido de que os novos poços venham a ter os respectivos relatórios técnicos adaptados ao padrão. Considera-se, ainda, que embora grande parte dos poços explorados nos sistemas de abastecimento municipais tenham sido construídos sem projeto técnico e, portanto, careçam de informações mais completas, é vantajoso estender para todos os poços a mesma sistemática de coleta de dados. Este procedimento não só permitirá a melhor avaliação de cada poço mas também facilitará a implantação de banco de dados a nível estadual, regional e nacional.

2.2 Resultados de Análises Físico-Química e Bacteriológica da Água

O registro das características físico-químicas e bacteriológicas da água do poço, analisada logo após a sua construção, é documento indispensável na organização de dados básicos. É de todo recomendável que a primeira análise seja a mais completa possível.

Na determinação das características físico-químicas sugere-se um padrão de análise abrangendo 21 parâmetros e elementos, que são: temperatura, pH, condutividade específica, resíduo seco a 180ºC, alcalinidade total, dureza total, gás carbônico livre, sílica, cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, ferro, manganês, fluoreto, nitrato e nitrito. Os resultados da análise matriz servirão de referência para comparação com as determinações periódicas efetuadas durante a exploração do poço (ver item 3.5), a fim de verificar as modificações no quimismo da água.

O modelo sugerido de relatório de qualidade da água da primeira análise (Formulário n.º 2 - qualidade físico-química de água) é um formulário em cujos campos estão dispostas informações de identificação do poço, das determinações de campo e dos resultados de laboratório. Para alguns parâmetros-chave, como os cátions e ânions, os valores normalmente expressos em miligramas por litro são convertidos em miliequivalentes por litro e em porcentagem de miliequivalentes, com vistas ao estudo de um grupo de amostras de água.

Com a mesma finalidade, o formulário dispõe de espaço para o registro de dados calculados de razões hidrogeoquímicas importantes.

qualidade físico-química de água

1 . identificação

f. topográfica	n. poço	ano	bacia hidrográfica
município			
distrito			
local			
			prof. (m)
coord. EO	coord. NS		cota
proprietário			
bacia ou sub-bacia hidrográfica			
aqüífero mais provável			
uso da água			

cátions	mg/l	meq/l	%meq/l	ânions	mg/l	meq/l	%meq/l
CA^{++}				$CO_3^{=}$			
Mg^{++}				HCO_3^{-}			
Na^{+}				$SO_4^{=}$			
K^{+}				Cl^{-}			
Fe^{++}				NO_3^{-}			
total				**total**			

cálculo de erro

$$E = \frac{\Sigma \text{ cátions} - \Sigma \text{ ânions}}{\Sigma \text{ cátions} + \Sigma \text{ ânions}} =$$

2 . determinações de campo

após a construção

responsável		data	hora
temp. água (ºC)	n. do aparelho	condutividade	n. do aparelho
temp. amb. (ºC)		outras	
pH			

odor sim ☐ não ☐ turbidez sim ☐ não ☐ areia sim ☐ não ☐

no início da operação

responsável		data	hora
temp. água (ºC)	n. do aparelho	condutividade	n. do aparelho
temp. amb. (ºC)		outras	
pH			

odor sim ☐ não ☐ turbidez sim ☐ não ☐ areia sim ☐ não ☐

relações em meq/l

Mg/Ca		(Cl-Na) Cl	
Na/K			
Na/Ca			
SO_4/Cl			

parâmetros de atividade da água

pH de equilíbrio: pHe =

índice de atividade

I =2 pHe - pH =

potencial redox

3 . determinações de laboratório

n. amostra	data de análise	laboratório	
temperatura			°C
pH			
cond. específica			µS/cm
resíduo seco a 180°			mg/l
alcalinidade total			mg/l
dureza total			mg/l de $CaCO_3$
CO_2 livre			mg/l de CO_2
SiO_2			mg/l de SiO_2
Mn			mg/l de Mn
F			mg/l de F
B			µg/l de B
PO_4			mg/l de PO_4

4 . observações

2.3 Características do Equipamento de Bombeamento e Instalações Auxiliares

O registro das características do conjunto de bombeamento instalado em cada poço é fundamental no planejamento da operação e no controle da manutenção. Não obstante ser uma das partes mais inspecionadas de um sistema, pelos frequentes defeitos que pode apresentar, seu controle é, em muitos casos, negligenciado. É comum ver-se bombas e motores instalados sem plaqueta de identificação; às vezes ocorre troca ou remanejamento de equipamento de um poço para outro, sem o necessário registro; há, ainda, casos freqüentes de bombas que sofrem recondicionamento, perdendo partes de suas características originais, sem que haja registro histórico do fato. A falta de controle dificulta a avaliação periódica da eficiência do equipamento, dos tipos de defeitos que apresenta com o tempo de funcionamento e de sua vida útil. Mais ainda, dificulta o julgamento da natureza do problema que o poço venha a apresentar durante a exploração, aumentando o grau de incerteza quanto a saber se se trata de problema da bomba ou do próprio poço.

A ficha-modelo apresentada (Formulário nº 3 - Equipamento de bombeamento e instalações auxiliares) reúne os elementos essenciais do equipamento de bombeamento e dos equipamentos auxiliares destinados ao controle da operação, dispostos nos seguintes itens:

- elementos característicos do poço: profundidade total, ano de perfuração, diâmetro útil e profundidade da câmara de bombeamento; resultados do teste de produção;
- características do conjunto motor-bomba: tipo de bomba, marca, modelo, número de estágios, vazão nominal, altura manométrica-nominal, diâmetro externo máximo; tipo de motor, potência, rotação, corrente;
- características de instalação: profundidade real do crivo, nível estático, nível dinâmico, vazão, altura manométrica total;
- croquis de instalação, incluindo a linha de recalque;
- características dos equipamentos auxiliares: dispositivo para medição de nível d'água, medidor de vazão, totalizador de horas de funcionamento, dispositivo de segurança.

A ficha constitui-se num documento para cada unidade poço-bomba, fazendo parte do arquivo permanente junto com os demais documentos básicos. Seu conteúdo se baseia nos equipamentos de porte e uso mais generalizado, comportando adaptações quando se trata de unidades de pequeno porte, tais como cata-ventos e bombas injetoras.

3. ESTABELECIMENTO DAS CONDIÇÕES INICIAIS DE OPERAÇÃO

A implantação de um programa de operação sistemática de poços passa por uma etapa preliminar cujo objetivo é determinar as condições iniciais de exploração de cada poço, fixadas após análise dos dados, execução e interpretação dos ensaios necessários. Por "condições iniciais" entenda-se a base atual, de partida para a operação sistemática e não aquelas condições do poço quando da sua entrada em funcionamento. Trata-se de proceder a campanhas de vistoria dos poços em funcionamento, com a realização de medidas e ensaios cujos resultados, convenientemente analisados, servirão para fixar as condições de exploração referidas a uma data base, isto é, ao ano de início da operação sistemática dos poços.

equipamento de bombeamento e instalações auxiliares

1 . identificação

n. poço	município	local			
proprietário				ano	prof. total (m)
câmara de bombeamento				Ø útil (mm)	prof. (m)
ensaio de vazão	data	duração (h)	NE (m)	ND (m)	vazão (m^3/h)

2 . característica do conjunto motor/ bomba

bomba tipo		marca	modelo	fabricante	fornecedor
n. estágios	Q nominal (m^3/h)	hm nominal (m)	Ø ext.máx. (mm)	tempo de uso	estado nova ☐ usada ☐
motor	tipo elétrico ☐ diesel ☐		marca		modelo
potência (CV)	rotação (rpm)	tensão (V)	corrente (A)		fases

3 . condições de instalação do conjunto

prof. real do crivo (m)	NE medido (m)	data	vazão (m^3/h)	ND (m)	duração (h)
altura manométrica	linha de recalque (m)		desnível geométrico (m)	perda de carga calculada (m)	
hm a partir da boca do poço (m)			hm total (m)		

observações

4 . instalações auxiliares

medidor de nível			tipo	pneumático ☐ elétrico ☐
tubo auxiliar	profundidade (m)	Ø (mm)	material	
medidor de vazão	hidrômetro ☐ tubo de pitô ☐		tambor aferido ☐ outro ☐ indicar	volume (l)
totalizador de horas	tipo		marca	

5 . croquis de instalação

instalado por	data	supervisor	data

As condições de exploração de um poço são determinadas mediante o conhecimento da vazão ótima exploráveis, das perdas de carga e eficiência do poço, das características hidrodinâmica do aqüífero captado e da qualidade físico-química da água. Uma vez conhecidas as características do poço e do aqüífero, será necessário reavaliar as condições atuais de exploração, efetuar as adaptações ou redimensionamentos necessários dos equipamentos de bombeamento e fixar, então, o regime mais adequado de funcionamento do sistema.

3.1 Execução de Teste de Produção

A determinação da vazão ótima explorável, das perdas de carga e da eficiência de um poço é feita a partir de um teste de bombeamento em etapas ou teste de produção. Os procedimentos para a realização deste tipo de teste são relativamente simples e podem muito bem ser aplicados por um técnico qualificado. Porém, sua preparação prévia é fundamental; é preciso organizá-lo a partir do conhecimento das condições hidrogeológicas locais, e das características de construção do poço, escolhendo o equipamento mais adequado e ramando a execução.

fundamentos

O rebaixamento real, medido num poço em bombeamento, é uma somatória de rebaixamentos devidos a perdas de carga no aqüífero e as perdas de carga no poço (Figura nº3 - Causas do rebaixamento em poços).

As perdas de carga no aqüífero produzem o rebaixamento necessário para que a água flua para o poço em regime laminar e dependem, fundamentalmente das características do aqüífero (permeabilidade e porosidade) e do diâmetro do poço.

As perdas de carga do poço produzem um sobre-rebaixamento que é uma soma dos seguintes fatores:

- perdas de carga em torno do poço, devido ao aumento de velocidade da água. Este tipo de perda pode ser significativo em poços com filtros subdimensionados, ou mal desenvolvidos;
- perdas de carga devidas à ascensão da água no poço, desde a zona filtrante até a bomba. Este tipo de perda só é significativo quando essa distância é grande ou quando o diâmetro da tubulação é pequeno em relação à vazão;
- perdas de entrada na bomba: quando o espaço entre o corpo da bomba e a parede da tubulação é muito pequeno.

Segundo Jacob o rebaixamento real em um poço bombeado obedece aproximadamente a equação:

$$s = BQ + CQ^2$$

onde

s é o rebaixamento real, medido no poço em bombeamento, em metros.

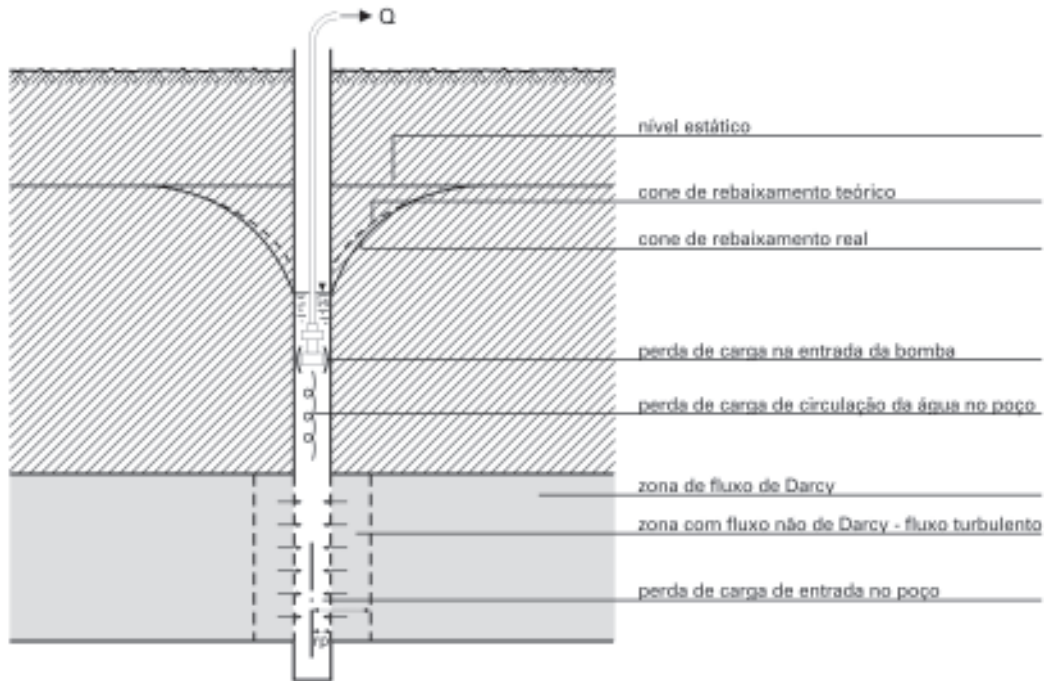
B é o coeficiente de perda do aqüífero

C é o coeficiente de perdas do poço

Q é a vazão, em m^3/hora

O termo BQ da equação representa o rebaixamento devido às perdas do aqüífero. O coeficiente B é função do tempo de bombeamento.

O termo CQ^2 representa o sobre-rebaixamento devido às perdas de carga do poço. O coeficiente C independe do tempo.

causas do rebaixamento em poços

Para determinar os coeficientes B e C é necessário conhecer os rebaixamentos correspondentes a três ou quatro vazões distintas, ou seja, é necessário efetuar um teste de bombeamento em etapas ou teste de produção.

preparação do teste

A execução de um teste de bombeamento requer um planejamento prévio que deve incluir não só os equipamentos e aparelhos necessários mas, fundamentalmente, uma diretriz clara em relação ao tipo de informação que se deseja obter.

A preparação do teste pressupõe disponíveis as seguintes condições:

a) conhecimento das características do poço e do tipo de aqüífero captado. É necessário dispor do perfil técnico do poço (profundidade, diâmetros, posição dos revestimentos e filtros, pré-filtro) e do perfil litológico atravessado pela perfuração. São particularmente importantes, além disso, as informações obtidas do sondador, como a presença de fraturas ou fendas, a variação do nível d'água no poço durante a perfuração, a perda d' água, etc.;

b) escolha do equipamento de bombeamento - os testes finais de bombeamento em poços devem ser feitos com bomba vertical, de tipo submersível ou de eixo prolongado, com capacidade de extração superior à vazão prevista do poço. O conjunto moto-bomba deverá estar em condições de funcionar ininterruptamente durante todo o período de teste. Por isso é mais recomendável que se possa dispor de um gerador (para evitar as possíveis quedas de energia da rede pública). A utilização de equipamento a ar comprimido não é recomendada na execução do teste final pelos inconvenientes que acarreta: é praticamente impossível estabelecer 3 ou 4 etapas de vazão, manter o controle da vazão e efetuar medidas precisas do nível d'água;

c) medidas de vazão - a medição de vazão durante o teste deve ser feita com menos de 5 % de erro. Para as vazões de até 40 m^3/h podem ser utilizados

recipientes de volume aferido (geralmente tambores de 200 a 220 litros). Vazões superiores a 40 m^3/h devem ser determinadas por meio de sistemas contínuos de medida, tais como vertedouros, tubo de Pitot e outros. As medidas de vazão são tão importantes como as de nível d'água. Em geral devem ser feitas em correspondência com as medidas de nível d'água, devendo-se ter o cuidado de ajustá-la e mantê-la constante durante toda a etapa de bombeamento. Para isso a tubulação de descarga deve ser dotada de uma válvula de regulagem sensível e de fácil manejo para que se possa passar rapidamente de uma etapa de bombeamento a outra e manter a vazão constante. Deve-se fazer o possível para ajustar a vazão nos primeiros 5 minutos de cada etapa, logo no início do bombeamento;

d) medidas de nível d'água - na medida dos níveis d'água deve-se obter a precisão do centímetro. Geralmente são utilizados medidores elétricos, com fio numerado de metro em metro e marcado a cada meio metro. Para facilitar a leitura rápida da medida coloca-se uma trena na própria caixa do medidor ou na tubulação de descarga. Na instalação da bomba deve ser descido um tubo de 3/4" ou de 1" destinado à introdução do medidor de nível. A programação dos tempos de medida é, naturalmente, função da "resposta" do poço ao bombeamento.Como norma geral, deve-se programar uma freqüência de tempo tal que permita colocá-la depois em escala logarítmica;

freqüência de medições de nível d'água em testes de bombeamento

intervalo de tempo a partir do início do bombeamento (min.)			medidas a cada
0	-	10	1 minuto
10	-	20	2 minutos
20	-	100	5 minutos
100	-	300	20 minutos
300	-	600	30 minutos
600	-	em diante	60 minutos

e) duração - cada etapa de bombeamento deve ter uma duração tal que seja obtida uma relativa estabilização do nível d'água (dinâmico) para a vazão bombeada. Em geral a duração de cada etapa é de 6 a 8 horas. Nos poços em que a vazão prevista é relativamente baixa, inferior a 10 m^3/h, o teste final pode ser um bombeamento contínuo a vazão constante (sem etapas), com uma duração total não inferior a 24 horas. Além disso, deve-se assegurar que o nível dinâmico se mantenha estabilizado no mínimo durante 6 horas a partir do início da estabilização;

f) registro das medidas (Figura nº 4 - Medidas de teste de bombeamento) - o registro das medidas efetuadas e de todas as ocorrências durante o teste é fundamental. Deve-se dispor, previamente, de uma "ficha de teste" que facilite e obrigue ao operador fazer todas as anotações importantes. É de boa prática preencher, antes do início do teste, o cabeçalho e a coluna dos tempos até os 30 minutos. Na coluna "observações" deve-se registrar: características físicas da água (turbidez, passagem de areia) e operações realizadas (regulagem de vazão, passagem de uma etapa a outra); estas anotações devem sempre estar referidas ao tempo em que forem feitas;

g) lançamento da água extraída - a água extraída durante o bombeamento deve ser lançada o mais longe possível do poço, a fim de não mascarar os resultados do teste. Esta distância só pode ser fixada em função do tipo de aqüífero (livre ou confinado) e de sua constituição litológica. A distância mínima recomendada é de 25 metros. Nos casos de poços captando aluviões ou rochas fissuradas esta distância deve ser bem maior (acima de 300 metros). O que normalmente se faz, para evitar uma canalização extensa da água é colocar a tubulação de saída d'água à distância conveniente e prolongar o caminho da água através de uma canaleta no terreno, impermeabilizada com argila ou plástico.

execução Antes de ligar a bomba, faça 3 medidas de nível d'água, de meia em meia hora, a fim de se certificar da posição do nível estático.

Estabeleça o escalonamento das vazões de teste levando em conta a vazão prevista do poço e a capacidade de extração da bomba (a vazão do poço é avaliada durante o desenvolvimento ou por meio de bombeamento expedito). As vazões devem ser aproximadamente de 30 %, 60 % e 100 % da vazão prevista do poço (ou da capacidade máxima da bomba), correspondentes à 1ª , 2 ª e 3 ª etapas. Não se deve programar etapas de vazões muito próximas.

Ligue a bomba e passe a fazer as medidas de nível d'água na seqüência de tempos indicada. Controle a vazão da 1ª etapa, por meio de regulagem e medidas constantes. Deve-se contar com pessoal suficiente para efetuar estas medidas simultâneas, especialmente nos primeiros 10 minutos, quando as leituras são feitas a cada minuto. Importante: não esqueça de acertar os relógios para a mesma hora de início do bombeamento. Na primeira meia hora, os tempos devem ser controlados com cronômetro; depois, pode-se prosseguir com relógio.

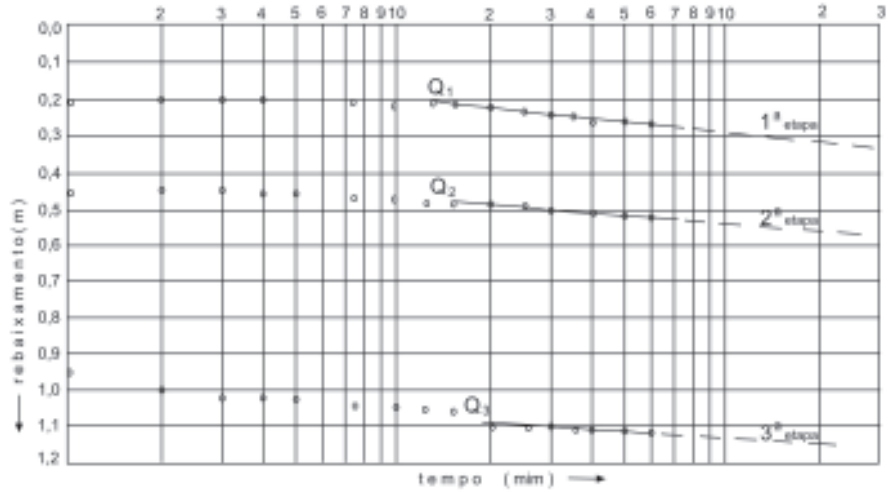
Decorrida a 1ª hora de teste, passe a colocar as medidas em gráficos. Em papel "monolog" coloque os pontos de medida de nível d'água (ou de rebaixamento) em ordenadas e os tempos correspondentes em escala logarítmica.

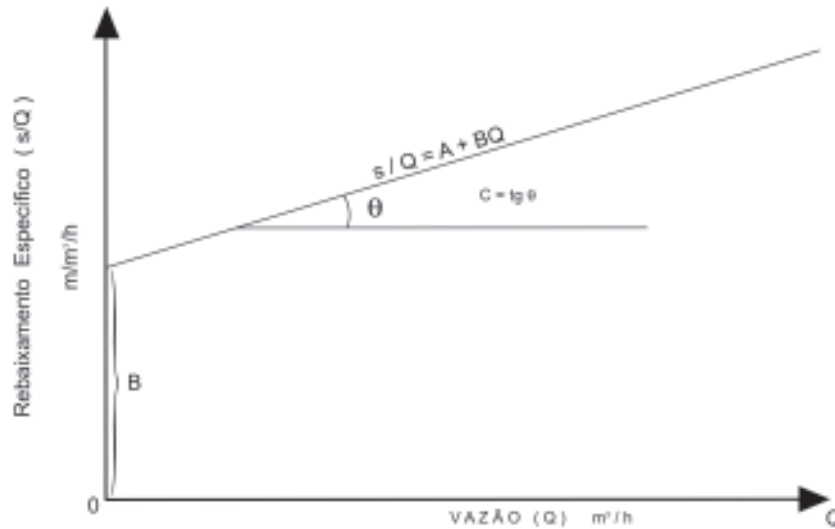
Uma vez estabilizado o nível dinâmico para a 1ª vazão, passe para a segunda etapa, procedendo da mesma maneira, isto é, obedecendo a seqüência de tempos como se fosse um novo bombeamento. E assim sucessivamente, até o final do teste.

Concluindo o teste, faça a representação gráfica dos rebaixamentos com o tempo, tal como indicado na Figura nº 5 - Representação gráfica do teste de rebaixamento em etapas (papel monolog).

Organize, a seguir, os resultados do teste postos em gráfico conforme a Tabela nº 2 - Disposição dos resultados de teste de bombeamente em etapas.

Os valores de s (rebaixamento) correspondentes a cada etapa devem ser tomados a intervalos de tempo aproximadamente iguais e sempre referidos ao nível inicial (estático).

representação gráfica do teste de rebaixamento em etapas (papel monolog)

disposição dos resultados de teste de bombeamento em etapas				
etapa	**Q (m³/h)**	**s (m)**	**s/Q (m/m³/h)**	**duração (min)**
1ª				
2ª				
3ª				
4ª				

representação gráfica da equação caracterísitca do poço

3.2 Determinação das Perdas de Carga e da Vazão Máxima Explorável

A Equação (1) dos rebaixamentos, pode também ser escrita da seguinte forma:

$$s/Q = B + CQ$$

Esta equação caracteriza uma reta. Em um gráfico, em papel milimetrado, em escala conveniente colocam-se, em abcissas os valores Q_1 , Q_2, Q_3 e Q_4 do teste, e em ordenadas os valores s_1/Q_1, s_2/Q_2, s_3/Q_3, s_4/Q_4, (rebaixamento específico) calculados (Figura nº 6 - Representação gráfica da equação característica do poço).

Os coeficientes de perda de carga do aqüífero (B) e do poço (C) são determinados graficamente. Os valores determinados são substituídos na Equação (1) obtendo-se a **equação característica do poço**.

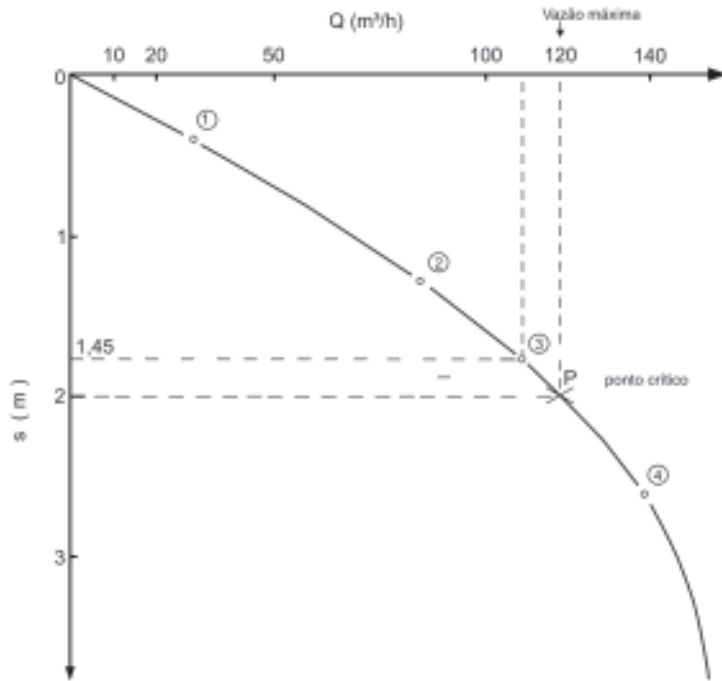
Com base nos resultados do teste, constrói - se um outro gráfico "vazão - rebaixamento", que é a curva característica do poço (Figura nº 7 - Curva característica de poço).

A curva característica é constituída de duas partes: um setor OP, praticamente uma reta, correspondente a rebaixamentos relativamente pequenos. Para rebaixamentos acentuados, a inclinação da curva aumenta rapidamente com o aumento da vazão. Existe um ponto P a partir do qual o aumento dos rebaixamentos é bastante desproporcional a pequenos aumentos de vazão. É o **ponto crítico**.

A vazão máxima ou a vazão crítica corresponde ao rebaixamento no ponto crítico e não pode ser ultrapassada na exploração do poço. Acima desta vazão o fluxo entra em regime turbulento.

Uma vez conhecidas as perdas de carga e a vazão máxima explorável é, então, possível calcular o rebaixamento correspondente à vazão de extração desejada, de acordo com a equação característica do poço (1).

curva característica do poço

3.3 Determinação da Eficiência

A eficiência e de um poço é definida como relação entre a vazão específica teórica e a vazão específica real, ambas referidas a um tempo igual de bombeamento. Para o cálculo do rebaixamento teórico é necessário conhecer os coeficientes transmissividade (T) e armazenamento (S) do aqüífero e o raio efetivo do poço, mediante ensaio de bombeamento com piezômetro. Em situações reais bastante freqüentes, quando não se conhece os parâmetros do aqüífero, a eficiência pode ser calculada admitindo-se que o termo BQ da equação do poço ($s = BQ + CQ^2$) representa o rebaixamento teórico. Deste modo:

$$e = \frac{BQ}{BQ+CQ^2} = \frac{1}{1+C/BxQ}$$

A eficiência é um dado importante que permite comparar as características de poços construídos numa mesma formação. Quando, porém, se deseja avaliar o desempenho de um poço ao longo do tempo, o valor absoluto da eficiência carece de maior significado. Procura-se, neste caso, trabalhar com a **eficiência relativa** do poço, isto é, efetuar determinações periódicas da eficiência e analisar cada resultado em comparação com os valores anteriormente obtidos.

3.4 Fixação das Condições de Exploração: Exemplos

Para dimensionar as condições de exploração de um poço, uma vez conhecidos os resultados do teste de produção, torna-se necessário:

- determinar a vazão segura ou **vazão ótima** de exploração; como foi visto, a curva característica indicará o ponto crítico, com a correspondente vazão máxima. A vazão ótima deve ser fixada um pouco abaixo do valor correspondente ao ponto crítico;

- determinar o rebaixamento total, correspondente à vazão ótima, o que é feito através da equação do poço, e calcular o nível dinâmico a esta vazão;
- verificar o diâmetro útil e a profundidade da câmara de bombeamento, cuidando para que o ponto de tomada de água (profundidade de colocação da bomba) fique sempre acima das seções filtrantes e não frontalmente a elas;
- fixar o ponto de colocação da bomba ou da tomada de água abaixo do nível dinâmico. Esta profundidade só pode ser determinada com segurança quando se dispõe:

  1) da previsão de evolução dos rebaixamentos no poço com o tempo, para o que são necessários os parâmetros do aqüífero;

  2) da variação sazonal do nível piezométrico regional, através de mapas piezométricos. Na prática, quando não se dispõe destes dados, como freqüentemente ocorre, trabalha-se a favor da segurança colocando a bomba de 6 a 10 metros abaixo do nível dinâmico.

exemplo A No exemplo da Figura nº 8 - Ficha técnica e resultados de teste de produção em poço, exemplo A, estão resumidas as características técnicas, o perfil litológico e os resultados finais do teste de produção de um poço de 111 metros de profundidade, perfurado em rocha sedimentar. Os procedimentos para dimensionamento das condições de exploração são os seguintes:

a) determinação da equação característica do poço: no gráfico rebaixamento específico (s/Q) x vazão (Q) determinam-se

   $B = 0,8$ e $C = 0$

   sendo então, a equação característica

   $s = 0,8\,Q$

b) análise da curva característica: pela representação gráfica da vazão (Q) versus rebaixamento (s) e do rebaixamento específico (s/Q) versus vazão (Q), a análise conjunta das duas curvas permite concluir que:

- o fluxo d'água manteve-se laminar na vazão mais elevada do teste;
- os rebaixamentos no poço são diretamente proporcionais a vazão bombeada;
- as perdas de carga no poço são desprezíveis, indicando boa construção;
- os rebaixamentos no poço devem-se unicamente as perdas de carga no aqüífero.

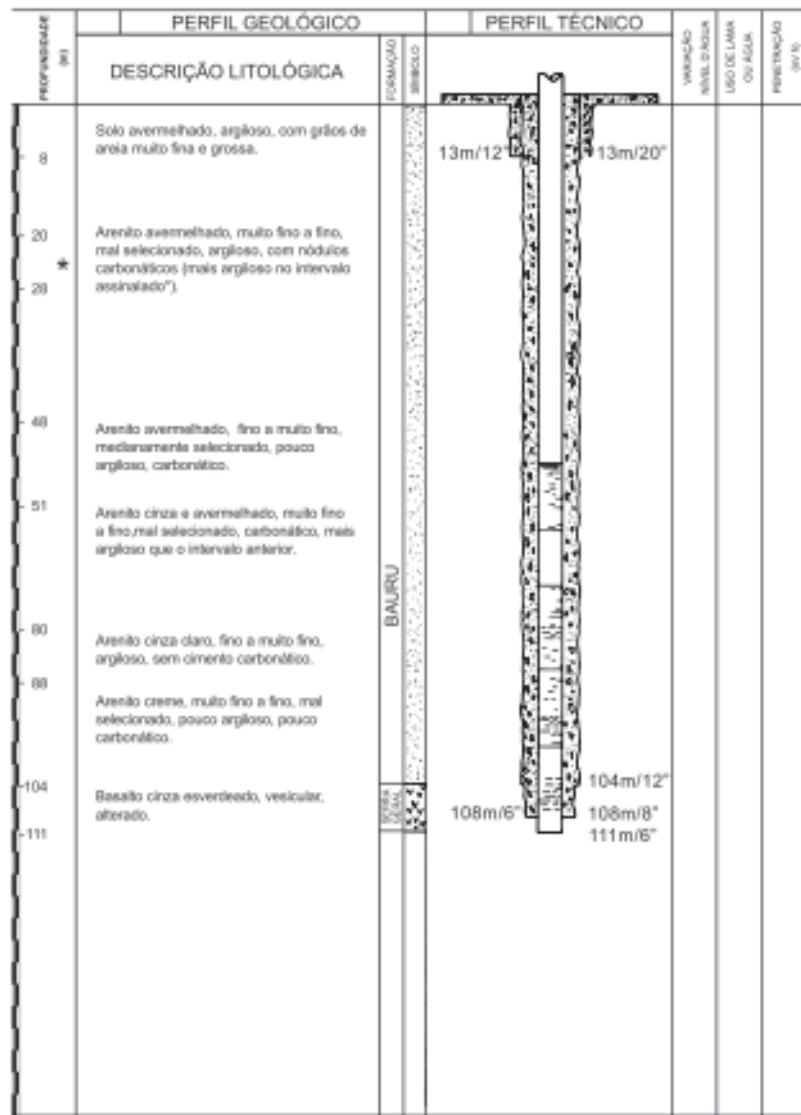
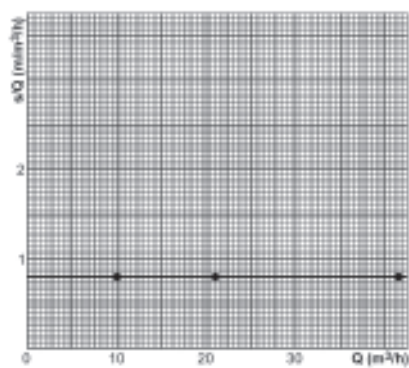
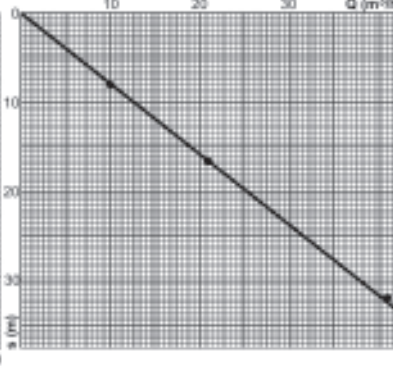
c) fixação da vazão ótima: o exame da curva característica permite concluir que o poço pode, teoricamente, ser explorado com vazão superior a vazão final de teste (41,5 m^3 /h); todavia, a vazão de exploração foi fixada em 40 m^3/h, por motivos que serão explicados mais adiante;

d) cálculo do rebaixamento total (s):

   $s = BQ = 0,8 \times 40 = 32$ m

e) cálculo da profundidade do nível dinâmico (ND):

   $ND = s + \text{prof. } NE = 32 + 6,15 = 38,15$ m

f) profundidade de colocação da bomba: 48 m

n. estático (m)	etapa	Q (m³/h)	ND(m)	s (m)	duração (h)	t. areia inicial %	t. areia final %
6,15	1ª	10	14,15	8,0	11	—	—
	2ª	21	22,95	16,8	11	—	—
	3ª	41,5	38,45	32,3	13	—	—

Justificativa: Na fixação da vazão de exploração em 40 m^3 /h foram levados em conta os seguintes aspectos:

- a tubulação de revestimento tem diâmetro de 150 mm e vai até 55 metros de profundidade; abaixo já se tem filtros;
- a oscilação regional do nível d'água não é conhecida;
- não se dispõe de elementos para prever a evolução dos rebaixamentos com o tempo de exploração.

exemplo B Um poço de 132 metros de profundidade, perfurado em rocha cristalina, dura, parcialmente revestido, foi testado em 4 etapas sucessivas de vazão.

Os resultados do teste, bem como as características do poço são apresentados na Figura nº9 - Ficha técnica e resultados de teste de produção em poço exemplo B. Para determinar as características de exploração procede-se de maneira análoga ao exemplo A.

a) determinação da equação característica do poço: no gráfico s/Q x Q determinam-se

B = 0,96 e C = 0,0145

sendo, então, a equação característica:

$s = 0,96\ Q + 0,0145\ Q^2$

b) análise da curva característica: a representação gráfica Q x s confrontada com o gráfico s/Q x Q permite concluir que:

- o fluxo é laminar somente até um trecho da curva próximo a vazão de 28 m^3/h, que é o ponto crítico; a partir deste trecho, os rebaixamentos decaem bruscamente com o aumento da vazão;
- os rebaixamentos no poço devem-se, em maior grau, as perdas de carga no aqüífero (notar que se trata de fluxo em fissuras detectadas durante a perfuração); os rebaixamentos devidos a perdas de carga no poço são relativamente pequenos (notar que o poço não possui revestimentos e filtros, nem envoltório de pré-filtro nos trechos correspondentes as entradas de água).

c) fixação da vazão ótima: pelo exame da curva característica, escolheu-se um ponto ligeiramente à esquerda do ponto crítico, correspondendo a vazão de 25 m^3 /h;

d) cálculo do rebaixamento total (s):

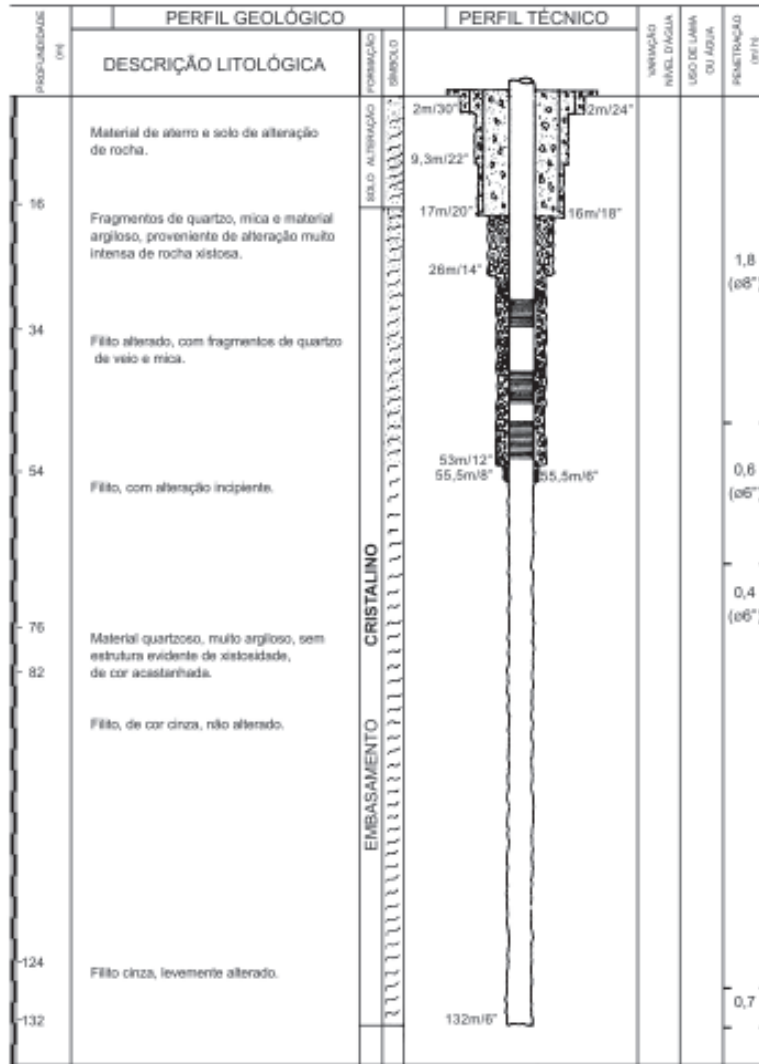
$s = BQ + CQ^2 = 0,96 \times 25 + 0,0145 \times 25^2 = 24 + 9,06 = 33,06$ m

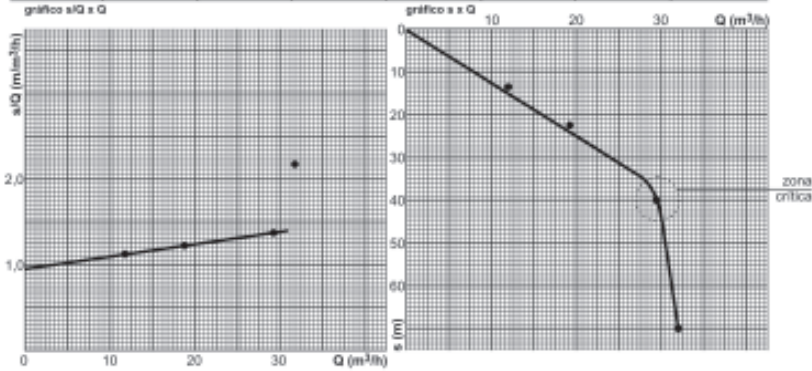
e) cálculo da profundidade do nível dinâmico

ND = s + prof. NE = 33,06 + 2,71 = 35,77 m

f) profundidade de colocação da bomba: 44 m

recomendações gerais Os testes de produção permitem estabelecer condições relativamente seguras na exploração de poços. Sua realização deveria ser exigência contratual, principalmente por parte dos órgãos públicos, para cada poço que fosse construído. Num planejamento de operação sistemática é condição fundamental a realização de uma campanha de testes em todos os poços. em funcionamento. A análise criteriosa dos resultados obtidos certamente conduzirá ao redimensionamento tanto dos volumes de extração como dos equipamentos de bombeamento, contribuindo para a otimização dos sistemas.

ficha técnica e resultados de teste de produção em poço - exemplo B

resumo do teste

n. estático (m)	etapa	Q (m³/h)	ND(m)	s (m)	duração (h)	Q/s	s/Q
2,71	1ª	12	16,38	13,67	10	0,88	1,14
	2ª	18,86	25,95	23,24	10	0,81	1,23
	3ª	29,33	43,01	40,30	3,5	0,73	1,37
	4ª	31,70	72,21	69,50	4	0,46	2,19

É preciso advertir que os procedimentos descritos visam sobretudo a orientação metodológica e não devem ser entendidos como normas rígidas ou um receituário. O conhecimento das características físicas do aqüífero em cada local é o fator que comanda a análise das condições hidráulicas dos poços. Em geral, nos poços perfurados em terrenos granulares os parâmetros hidráulicos seguem mais de perto as formulações teóricas, ensejando maior margem de segurança na interpretação dos resultados de ensaios. O mesmo não se dá nos poços perfurados em terrenos cristalinos ou em rochas fissuradas que, freqüentemente, apresentam maior índice de anomalias, dificultando a interpretação. Nestes casos são necessários cuidados e técnicas especiais pois trata-se de conhecer o regime de alimentação das fendas e fraturas e distinguir os tipos de fluxo da água (laminar e turbulento) que caracterizam localmente o aqüífero.

Quando se trata de um campo ou bateria de poços é ainda mais recomendável a realização de estudos especiais, no sentido de quantificar os rebaixamentos produzidos e (re)dimensionar as taxas de bombeamento, minimizando as interferências.

3.5 Implementação de Dispositivos de Medição e Equipamentos Auxiliares

A instalação permanente de um hidrômetro junto com um totalizador de horas em cada unidade de bombeamento é a mais recomendável para a medição rotineira da vazão e do volume extraído de um poço. Estes dispositivos tem grande utilidade prática, facilidade de operação e leitura e podem ser utilizados na maioria das situações.

equipamentos de medição de vazão

Os métodos de medição de vazão normalmente utilizados variam grandemente de local para local, em função das características dos sistemas de bombeamento, dos volumes bombeados e das condições e facilidades existentes. Os mais largamente empregados são: recipiente de volume conhecido (tambor aferido ou reservatório); orifício calibrado; vertedor e medidor diferencial. Evidentemente, cada um destes métodos pode ser adequado a uma determinada situação. Porém, na operação sistemática de sistemas, trata-se de implementar instalações permanentes que permitam medir não só a vazão mas, também, o volume total de água produzido durante um determinado período de bombeamento e o total de horas de funcionamento da bomba.

equipamentos de medição de nível d'água

Para a medição rotineira dos níveis d'água em poços, durante a operação, existem dois tipos de instalação:

- medidor elétrico e tubo lateral para medição;
- medidor pneumático.

a) medidor elétrico - consiste de uma sonda que acusa o nível d'água com o fechamento de um circuito elétrico indicado por um amperímetro, lâmpada e/ou sinal auditivo. Existem dois tipos de instalação da sonda elétrica: uma, em que só um fio com eletrodo na extremidade é descido no interior do poço, completando-se a ligação com o fio terra; quando o eletrodo toca a superfície da água, fecha-se o circuito que é indicado no amperímetro. No outro tipo, dois fios com os respectivos eletrodos ligeiramente espaçados, são descidos no interior do poço; o contato do eletrodo superior com a água fecha o circuito, que é indicado pelo amperímetro. Convém que o fio seja marcado a cada meio metro e numerado de metro em metro, para facilitar a determinação da medida; os intervalos são medidos com trena.

Em ambos os casos é necessário instalar no poço um tubo lateral de (1/2" ou 3/4") para descer a sonda evitando, assim, tanto o enroscamento do cabo, quanto problemas causados por "cachoeira" dentro do poço que, eventualmente, podem fechar o circuito e acusar um falso nível d'água. O tubo deve ser instalado solidário à bomba ficando a extremidade inferior acima do crivo. Em sistemas de dois fios, o tubo pode ser de qualquer material; mas, quando o sistema for de um só fio, o tubo deve ser metálico;

b) medidor pneumático - consiste de um tubo de 1/4" ou 1/8" de diâmetro, de cobre, bronze ou ferro galvanizado, estanque ao escapamento de ar, instalado no poço a cerca de 5 metros acima do crivo da bomba, aberto na extremidade inferior. Na extremidade superior, à superfície, coloca-se um tê no qual são conectados um manômetro e uma válvula de câmara de ar.

O equipamento funciona assim: com uma bomba de bicicleta (ou um compressor) ligada à válvula, injeta-se ar, expulsando a água do tubo. A leitura máxima do manômetro indicará quando a água saiu totalmente do tubo; o manômetro registra então, a pressão da coluna de água no exterior do tubo, ou seja, a altura da coluna no interior do poço, a partir da extremidade inferior do tubo de ar. Na Figura nº 10 - Medidor pneumático de nível d'água, é apresentado um esquema da instalação, com instruções para medição do nível d'água.

Este método é muito prático e, além disso, econômico. A exatidão da medida é da ordem de mais ou menos 10 cm, sendo adequada para efeito do controle operacional.

Os manômetros registram a pressão em kg/cm^2, que deve ser convertida em metro de coluna de água ($1 kg/cm^2 = 10{,}33$ metros). Para maior facilidade de medida, recomenda-se abrir o manômetro e marcar no mostrador uma escala em metros, adotando como **zero** o comprimento da linha de ar. Deste modo, a leitura será feita diretamente, em metros.

equipamentos de uso condicional

a) manômetro - em todos os sistemas de bombeamento que recalcam água a partir da boca do poço deve-se prover a instalação de manômetro no início da linha de recalque, a fim de controlar a pressão de trabalho do sistema;

b) medidor de areia - em todos os casos em que se verifique passagem de areia em poços, é necessário dispor de um medidor de areia, a fim de detectar variações de teor durante a operação.Os tipos mais recomendados são o **centrifugador** e o **cone imhoff**, mostrados nas Figuras nº 11 a e nº 11 b - Medidor de areia tipo centrifugador e Medidor de areia (cone imhoff), com as respectivas instruções para manejo. O medidor tipo ciclone efetua uma ligeira centrifugação de parte da água bombeada, decantando a areia numa proveta graduada. O cone imhoff, muito usado em laboratórios de saneamento, é fabricado em vidro ou plástico, com fundo pontiagudo ou arredondado. Para efetuar medições de areia é preferível o de fundo pontiagudo porque permite medir pequenos teores.

O uso de decantadores comuns, valetas ou reservatórios de decantação não é aconselhável, pois, dificilmente acusam incrementos na quantidade de areia, além de serem estruturas de custo relativamente alto.

Como fazer a medida

- bombeie ar no tubo, até obter a leitura máxima no monômetro
- leia a pressão no manômetro e multiplique por 10,33; esta será a distância A ou C (do nível d’água até a base do tubo)
- subtraia A (ou C) de L (comprimento total da linha de ar) obtendo a medida do nível d’água (B ou D)

Instruções para medição

- o aparelho deve ser instalado a uma distância mínima equivalente a 5 vezes o diâmetro do tubo de descarga a partir de qualquer estrangulamento ou válvula
- abra a válvula (1) e regule a descarga do medidor, através da válvula (2), de modo a manter constante uma vazão de 2 litros por minuto
- feche a válvula (1), retire o tubo graduado, limpe e coloque de novo
- abra a válvula (1) e passe a fazer leituras do volume de areia de 10 em 10 minutos; faça pelo menos 3 leituras
- tire a média dos valores medidos no tempo correspondente, em cc/min.
- o teor de areia em ppm é calculado assim: valor (ppm) = valor (cc/min.) x 500
- cuide para que a vazão do medidor mantenha-se constante; ao final da operação, faça a medida da vazão do poço

Como fazer a medida

- sustente o cone com as mãos no bordo externo
- coloque a boca do cone na parte inferior do jato de água, próximo ao tubo de descarga e retire-o instantaneamente, assim que estiver cheio de água
- ponha o cone num suporte, deixe a areia decantar e leia diretamente o volume
- faça várias medições (sempre no início do bombeamento) e tire a media

equipamentos para determinações químicas

O controle de qualidade da água durante a operação, mediante a execução de análises físico-químicas periódicas, requer, além das determinações de laboratório, algumas medidas essenciais de campo, na boca do poço. É recomendável e necessário dispor, no mínimo, dos seguintes aparelhos:

- condutivímetro portátil, transistorizado, para medida de condutividade da água;
- aparelho medidor de pH, portátil, transistorizado; convém evitar a utilização de papel indicador ou fita, pois as determinações são pouco confiáveis;
- termômetro.

Uma alternativa conveniente e desejável, dependendo das condições locais e da quantidade de poços do sistema, é a utilização de “kit” com condutivímetro, medidor de pH, fotômetro e reativos para titulação.

Estes conjuntos, facilmente encontráveis no comércio, são unidades volantes que podem ser usadas para vários sistemas, cobrindo um maior número de determinações de campo. Deve-se alertar que o “kit” não substitui o laboratório; as determinações por ele efetuadas servem para detectar mudanças de composição química da água e orientar a análise de laboratório.

3

DIRETRIZES DE OPERAÇÃO

1. PROGRAMA

A implantação de um programa de operação, tendo como base o conhecimento das condições iniciais de funcionamento do sistema e a instalação permanente de dispositivos e equipamentos de medição, permite avaliar regularmente o desempenho do sistema, otimizar sua eficiência total, identificar problemas e fornecer indicações para a manutenção preventiva.

Em geral, a sistemática de medições, análises e interpretações é uniformizada nos programas básicos. As variações mais importantes ocorrem na freqüência de obtenção dos dados e no registro de informações adicionais impostas pela operação regular, uma vez que as condições de conjunto tendem a variar com a intensidade e o tempo de exploração. É imprescindível que as unidades de exploração sejam auto-suficientes na coleta dos dados; que a equipe responsável produza os melhores dados possíveis e que as interpretações obedeçam a técnicas e padrões definidos.

A operação de poços abrange dois grupos principais de atividades, que são:

a)o controle de funcionamento dos equipamentos de bombeamento;

b)o processo de coleta, controle e interpretação de dados.

O primeiro grupo será abordado no capítulo IV, posto que reúne atividades estreitamente relacionadas à manutenção. As atividades do segundo grupo serão tratadas mais de perto pois, em geral, são omitidas parcial ou totalmente e, em certos casos, realizadas de forma incorreta.

Na Tabela nº 3 - Sumário do programa de operação, são listados os dados essenciais a serem obtidos bem como os testes, observações e interpretações a serem efetuados, indicando-se para cada um a freqüência de obtenção conveniente.

2. MEDIÇÕES E TESTES

2.1 Vazão e Volume Total Extraído

A medição da vazão extraída do poço deve ser feita diariamente e sempre ao final do período de bombeamento. A medida instantânea pode ser feita por qualquer método, dependendo do tipo de instalação de bombeamento; porém, na operação sistemática é de todo recomendável o emprego de hidrômetro junto com o totalizador de horas.

Para determinação do volume total extraído, no caso de medição instantânea de vazão adota-se a vazão média do período multiplicada pelo tempo efetivo de bombeamento; no caso de medição com hidrômetro totalizador, a leitura é feita diretamente ao final de cada período de bombeamento, referindo o resultado ao tempo de operação indicado no totalizador de horas.

sumário do programa de operação				
medições e atividades	freqüência			
	diária	mensal	semestral	anual
vazão	x			
nível inicial	x			
nível estático		x		
nível dinâmico	x			
volume total extraido	x			
tempo de operação	x			
teste de bombeamento		x		
teste de produção				x
análise físico-química			x	x
análise bacteriológica				x
teor de areia				x
processamento de dados		x		
Interpretação			x	
recomendações a manutenção	sempre que necessário			

2.2 Níveis d´Água

A medição diária dos níveis d'água no poço deve ser feita no início e no fim de cada período de funcionamento, anotando-se os respectivos tempos de descanso e de bombeamento. Dada a importância fundamental das medidas de nível d'água, são necessários alguns esclarecimentos adicionais.

O **nível estático** é comumente definido como a posição (profundidade) do nível d'água de um poço em repouso, medida em relação à superfície do terreno, no local. A posição real do nível estático depende do tempo de recuperação do poço, após a parada da bomba, o qual, por sua vez, é função da vazão extraída, do rebaixamento atingido e das características do aqüífero. Assim, um nível d'água medido a um dado tempo após desligar a bomba pode ou não ser o nível estático real. Em poços de recuperação rápida e de curto período de bombeamento é provável que o nível estático seja atingido diariamente, o que não ocorrerá com os poços de recuperação lenta e longo bombeamento diário. Por esta razão é preciso distinguir **nível estático**, que deve ser medido após um período suficientemente longo de descanso do poço e o **nível inicial**, medido diariamente.

A medida do nível d'água inicial, antes de começar cada bombeamento, é um dado muito importante para referência e interpretação e deve ser feita com cuidado.

Para a medição do nível estático real sugere-se uma freqüência mensal, coincidindo com os testes rotineiros de recuperação e bombeamento que exigem interrupção prolongada do sistema. Para obter uma medida fiel, procede-se da seguinte forma:

- analisam-se as medidas de nível inicial e de nível dinâmico feitas em condições similares, verificando possíveis anomalias;
- efetua-se um teste de recuperação, como indicado no ítem 3.1;
- ao final do teste, anota-se o nível obtido; se a parte final da recuperação for muito lenta, colocam-se os dados em papel monologarítimico a fim de verificar a tendência da curva e extrapolá-la, em correspondência com a escala dos tempos;

- se o aqüífero for confinado, anota-se a **hora** exata da medida e registra-se a pressão atmosférica, de modo a possibilitar as correções necessárias.

O **nível dinâmico**, para efeito de operação, significa a profundidade mais baixa do nível d'água no poço atingida ao final de um período de bombeamento a uma dada vazão. A medida deve ser feita pouco antes de desligar a bomba, simultaneamente com a medida de vazão, sempre com o cuidado de registrar o tempo de duração do bombeamento.

2.3 Testes de Bombeamento e Recuperação

Mensalmente, aproveitando de preferência períodos de paralisação do sistema para manutenção, deve-se efetuar testes de bombeamento e de recuperação nos poços, visando determinar principalmente a vazão específica e o nível estático. Estes testes são de tipo expedito, a vazão constante; as indicações para sua realização são idênticas as descritas no item 3.1 - capítulo II, procedendo-se como se fosse uma só etapa de bombeamento, nas condições de funcionamento do sistema. A duração do bombeamento não deve ser inferior a 8 horas; a recuperação deve-se processar durante um tempo igual ou maior, com a devida atenção para a medida do nível estático real.

2.4 Testes de Produção

A operação programada torna imprescindível a execução de teste de produção, a fim de avaliar as perdas de carga e a eficiência do poço. Sugere-se uma freqüência anual para este tipo de teste, cujos procedimentos de execução e interpretação estão descritos no item 3.1 - capítulo II. De acordo com a experiência prática e as condições do aqüífero, é quase sempre possível encurtar os tempos de bombeamento em cada etapa para 2 ou 3 horas em média e obter bons resultados.

2.5 Teor de Areia

Um grande número de poços perfurados em sedimentos, devido a deficiências de construção, deixam passar areia durante o bombeamento, acarretando efeitos prejudiciais a bomba e ao próprio poço. Os limites permissíveis de teor de areia são fixados por critérios dos fabricantes de bombas e variam de 10 a 20 partes por milhão. Estes critérios devem ser admitidos com reserva porque, na operação de poços, os incrementos do teor de areia na água são indicadores de problemas no poço, mesmo que não excedem os limites tolerados pela bomba. Por isso é necessário o controle sistemático da produção de areia a fim de detectar e analisar qualquer variação de teor que ocorra. As medidas devem ser efetuadas a qualquer tempo, sempre que se observe aumento na passagem de areia e regularmente, por ocasião da execução de testes de bombeamento ou de produção.

2.6 Análise Físico-Química da Água

A determinação periódica da qualidade físico-química da água extraída é de importância básica na operação e manutenção, a fim de detectar a tempo efeitos nocivos da água no poço que, geralmente, se processam de maneira lenta e gradativa. Sugere-se efetuar duas categorias de análises, a saber:

- análise parcial, a cada 6 meses;
- análise completa, a cada ano.

A **análise parcial** abrange determinações relativamente simples que, pela sua importância, devem ser feitas no campo, com equipamentos adequados. Na Tabela nº 4 - Análise físico-química parcial de campo - é sugerida uma lista de determinações a serem efetuadas.

A **análise completa** inclui, além das determinações de campo, os parâmetros analisados em laboratório, abrangendo as 21 determinações indicadas no item 2.2 - capítulo II.

análise físico-química parcial de campo	
parâmetro	determinação
cor	tubo Nessler
odor	olfato
teor de areia	medidor
pH	aparelho medidor de pH
condutividade	condutivímetro
temperatura	termômetro

2.7 Análise Bacteriológica da Água

A água de um poço bem construído, protegido e desinfectado logo após a perfuração, dificilmente poderia apresentar qualquer problema de qualidade bacteriológica. Porém, frequentemente ocorrem casos de contaminação, ignorados e não detectados porque em geral coleta-se água para análise no reservatório ou na rede de distribuição, após passar por cloração, e não na saída do poço.

É necessário efetuar com rigidez, sempre que haja suspeita de contaminação e pelo menos uma vez por ano, o exame bacteriológico da água amostrada na boca do poço. Os principais motivos para isto são os seguintes:

- a possível existência de fonte de poluição do aqüífero, não detectada no estudo de locação do poço ou desenvolvida após a sua construção; este fator é particularmente importante em poços perfurados em aqüíferos fissurados;
- o desenvolvimento de contaminações durante a operação:

a) na substituição ou reparo do equipamento de bombeamento, sem desinfeção posterior;

b) na introdução de fios no poço, para medição de nível d'água;

c) na execução de reparos no poço, como a complementação de material de pré-filtro, re-desenvolvimento, sem desinfeção posterior.

A coleta de água para análise bacteriológica requer cuidados especiais, treinamento e consciência pelo pessoal encarregado, no sentido de evitar contaminação acidental no momento da amostragem, deturpando os resultados. Recomenda-se observar as seguintes instruções:

- a coleta de água para exame bacteriológico deve ser sempre realizada em primeiro lugar, antes de qualquer outra coleta;
- abrir a torneira ou registro de saída d'água junto ao poço e deixar escoar por 5 minutos;
- fechar a torneira ou registro e flambá-la;
- abrir a torneira ou registro a meia seção e continuar flambando durante 1 minuto;
- no momento da coleta abrir rapidamente o frasco esterilizado, sem lavá-lo com a própria amostra, tendo o cuidado de não deixar que a tampa toque em qualquer superfície e de não tocar no bocal do frasco;
- segurar o frasco pela base e enchê-lo até 4/5 do seu volume;
- fechar rapidamente o frasco, fixando o material protetor ao redor do gargalo;

- se em 1 hora não for possível levar a amostra ao laboratório, guardá-la a uma temperatura de 10^0C durante 8 horas no máximo.

3. PROCESSAMENTO E CONTROLE DE DADOS

3.1 Registro Diário

O registro diário das medidas e informações é a atividade mais fundamental na operação sistemática de poços. Considerando que este trabalho fica sempre a cargo do encarregado do poço, é necessário mostrar-lhe a importância de sua missão e instruí-lo quanto aos procedimentos de medição e a anotação correta dos dados.

A ficha-modelo sugerida para registro diário (Formulário nº 4 - Registro diário de operação) reúne elementos de identificação do poço e do conjunto motor-bomba, informações sobre as condições de medição, o quadro para preenchimento dos dados diários e instruções para o encarregado. Convém que a parte inicial (itens 1 e 2 da ficha) seja previamente preenchida por um supervisor, facilitando o trabalho do encarregado.

É importante observar que também diariamente são coletados os dados sobre o funcionamento dos equipamentos eletro-mecânicos, que são anotados em ficha apropriada (ver capítulo IV). Alguns destes dados são de particular importância na operação e, por isso, convém coletá-los no mesmo horário das medições. Assim, as leituras de correntes ou pressões de partida e de trabalho devem ser feitas no mesmo horário das medições de nível d'água; medidas do consumo de energia elétrica, de ar ou de combustível devem ser feitas no momento de medição de vazão.

3.2 Controle Mensal

O controle mensal da operação deve ser feito por um supervisor capacitado que fará inspeção em cada unidade poço-bomba nos prazos certos, executará o teste de bombeamento, e recolherá e processará os dados de registro diário.

A ficha-modelo sugerida para o processamento mensal dos dados de operação (Formulário nº 5 - Controle mensal de operação) inclui medidas escolhidas de níveis e vazão com os respectivos gráficos de acompanhamento, os resultados do teste de bombeamento e o registro de anormalidades verificadas durante o mês. Para o seu preenchimento, é conveniente proceder da seguinte maneira:

- a partir da ficha de registro diário, escolher as medidas de nível inicial correspondentes a tempos de repouso semelhantes, com diferença máxima de 1 hora; .
- de igual modo, escolher as medidas de nível dinâmico correspondentes a tempos semelhantes de bombeamento contínuo, junto com as respectivas medidas de vazão;
- fazer a representação das medidas nos respectivos gráficos de acompanhamento;
- a seguir (item 2 da ficha), anotar os resultados do teste de bombeamento;
- no item 3, anotar, de preferência junto ao encarregado, as anormalidades verificadas durante o mês, tanto no poço quanto nos equipamentos eletro-mecânicos e registrar as providências ou instruções feitas.

registro diário de operação

mês/ ano

1 . identificação

n. poço	município	local	
proprietário	ano	profundidade (m)	Ø (mm)

equipamento instalado — bomba submersa ☐ compressor ☐ bomba de eixo prolongado ☐ bomba injetora ☐ — proteção do crivo (m)

2 . condições de medição

vazão — referência: saída ☐ reservatório ☐ — método: hidrômetro ☐ tambor ou reservatório ☐ outro ☐ (indicar)

nível d' água	referência	alt. em relação ao solo (m)	tubo lateral (m)	furo no tubo de boca (m)	furo na tampa (m)

medidor: elétrico ☐ pneumático ☐

3 . medições

dia	início		término		horas de funciona-mento	vazão medida (m^3/h)	vol. pro-duzido (m^3)	dia	início		término		horas de funciona-mento	vazão medida (m^3/h)	vol. pro-duzido (m^3)
	hora	n. inicial (m)	hora	ND (m)					hora	n. inicial (m)	hora	ND (m)			
1								17							
2								18							
3								19							
4								20							
5								21							
6								22							
7								23							
8								24							
9								25							
10								26							
11								27							
12								28							
13								29							
14								30							
15								31							
16															
totais															

observações

4 . instruções

coluna 2 : marcar as horas de 1 a 24
coluna 3 : medir o nível antes de ligar a bomba
coluna 4 : marcar as horas de 1 a 24
coluna 5 : medir o nível antes de ligar a bomba
coluna 6 : coluna 4 menos coluna 2
coluna 7 : medir a vazão antes de desligar a bomba. Se for hidrômetro, fazer duas leitura: uma hora antes e outra no momento de desligar
coluna 8 : se não tiver hidrômetro, multiplicar o total da coluna 6 pelo da coluna 7
em observações: não esquecer de anotar: a) interrupção no bombeamento, tempo decorrido e motivo; b) ruídos, vibrações e qualquer outra anormalidade no conjunto motor bomba; c) os dias de chuvas no mês.

preenchido por	data

3.3 Controle Anual

O processamento e controle anual dos dados de operação consiste num cuidadoso trabalho de síntese dos relatórios mensais, com frequente recorrêncía aos registros diários. É mais conveniente adotar como referência o ano hidrológico, abrangendo por inteiro uma estação seca e uma estação chuvosa, de modo a avaliar melhor a resposta do poço e do aqüífero com a sequência de períodos climáticos. No caso de ser adotado o ano civil, como é de praxe, recomenda-se assinalar os meses do ano correspondentes a ambas estações.

A ficha-modelo sugerida para controle anual (Formulário nº 6 - Controle anual de operação) inclui: elementos de identificação do poço; dados totais de produção; medidas mensais de nível estático, nível dinâmico e vazão, com os respectivos gráficos de acompanhamento; resultados do teste anual de produção; parâmetros químicos calculados e observações decorrentes da análise de conjunto dos dados. Sugerem-se os seguintes critérios para preenchimento da ficha:

- escolher pelo menos 1 medida de nível estático mensal, obtida após um tempo de recuperação suficientemente longo; no caso de não haver sido feito o teste mensal de recuperação, recorrer ao registro diário e escolher a medida mais adequada;
- de igual modo, escolher medidas de nível dinâmico referentes a tempos de bombeamento suficientemente longos, com a correspondente medida de vazão;
- grafar os dados de nível estático, nível dinâmico e vazão;
- no item "observações", registrar: variações bruscas ou gradativas de qualquer parâmetro hidráulico (nível d'água, vazão, vazão específica, eficiência), data ou mês e possível motivo; anormalidades verificadas no equipamento de bombeamento, indicações para controle, pela manutenção.

A ficha-modelo abrange o período do primeiro ano de operação sistemática. Com o tempo, e, dependendo da experiência obtida em cada área, será possível adotar um mapa de controle plurianual que facilite mais a avaliação de desempenho do poço ano após ano.

3.4 Controle de Qualidade Química da Água

A realização de análises químicas da água pelo menos duas vezes por ano é necessária não só para verificar possíveis mudanças de composição química mas, também, para determinar seu potencial de incrustração ou corrosão, de acordo com o regime de bombeamento do poço.

Para o controle períodico da qualidade química sugere-se a ficha-modelo do Formulário nº 7 - Controle de qualidade química da água, que contém os parâmetros que interessam mais de perto na investigação dos processos de corrosão ou incrustração, a saber: temperatura, pH, condutividade (ou resíduo seco), alcalinidade total, CO_2 livre, dureza total, dureza permanente, cálcio, ferro e manganês. Além destas determinações, há espaço na ficha para inclusão de outros parâmetros que sejam peculiares de uma determinada área. Por exemplo, em regiões de águas sulfurosas, será necessário incluir a determinação de gás sulfídrico (H_2S), importante no fenômeno da corrosão.

A ficha de controle tem um campo próprio para alguns parâmetros, definidores do potencial de atividade química da água, que são: pH de equilíbrio, índice de atividade e potencial redox.

controle anual de operação

mês/ ano

1 . identificação

n. poço	município	local

proprietário	ano	prof. (m)	Ø (mm)	aqüífero captado

equipamento de bombeamento	tipo	potência (CV)	prof. do crivo (m)	tubulação da água Ø (mm)	lançamento (m)

2 . sumário de produção

vol. total extraído (m³)	total de horas de bombeamento	vazão média	mês mais seco	mês mais chuvoso

3 . níveis d' água, vazão e vazão específica

medida de teste	dia/ mês											
t. recuperação (h)												
NE (m)												
t. bombeamento (h)												
ND (m)												
vazão (m³/h)												
Q específica (m³/h/m)												

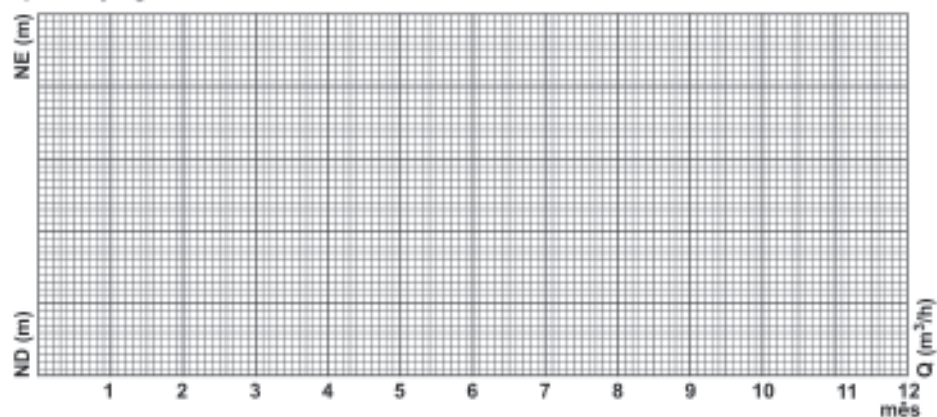
representação gráfica

NE (m)

ND (m)

Q (m³/h)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

mês

4 . resultado do teste de produção

teste original	mês/ ano	coef. de perda de carga no poço (A)	coef. de perda de carga no aqüífero (B)	eficiência (%)
teste atual	mês/ ano	coef. de perda de carga no poço (A)	coef. de perda de carga no aqüífero (B)	eficiência (%)

5 . parâmetros químicos calculados

índice de agressividade	valor anterior	data da análise	valor atual	data da análise
potencial redox	valor anterior	data da análise	valor atual	data da análise

nota : anexar cópia de análise físico-química completa

6 . observações

responsável	supervisor	data

controle de qualidade química da água

1 . identificação

n. poço	município	local

proprietário

ano	profundidade (m)	aqüífero captado	uso da água

2 .parâmetros de controle

determinação	mês/ ano										unidade
temperatura											°C
pH											
condutividade											µmho/cm
alcalinidade											mg/l
CO_2 livre											mg/l de CO_2
dureza total											mg/l $CaCO_3$
dureza permanente											mg/l de $CaCO_3$
cálcio											mg/l
ferro											mg/l
manganês											mg/l
parâmetros calculados											observação
pHe											usar gráfico
ind. agressividade											I = 2pHe - pH
potencial redox											

3 . sintomas de corrosão ou de incrustação observados no poço

data	descrição	observador

responsável	data

O pH_e (de equilíbrio) é determinado pelo gráfico e nomograma apresentado e explicado na Figura nº12 - Gráfico e nomograma para determinação do pH de equilíbrio.

O índice de atividade (ou índice de estabilidade de Ryznar) é definido pela fórmula:

$$I = 2pH_e - pH$$

em que I é o índice de atividade

pH_e é o pH de equilíbrio ou de saturação

pH é o pH medido

De acordo com este índice, tem-se as seguintes características potenciais da água: (Tabela nº5 - Classificação do potencial de corrosão/incrustação das águas, segundo o índice de Ryznar).

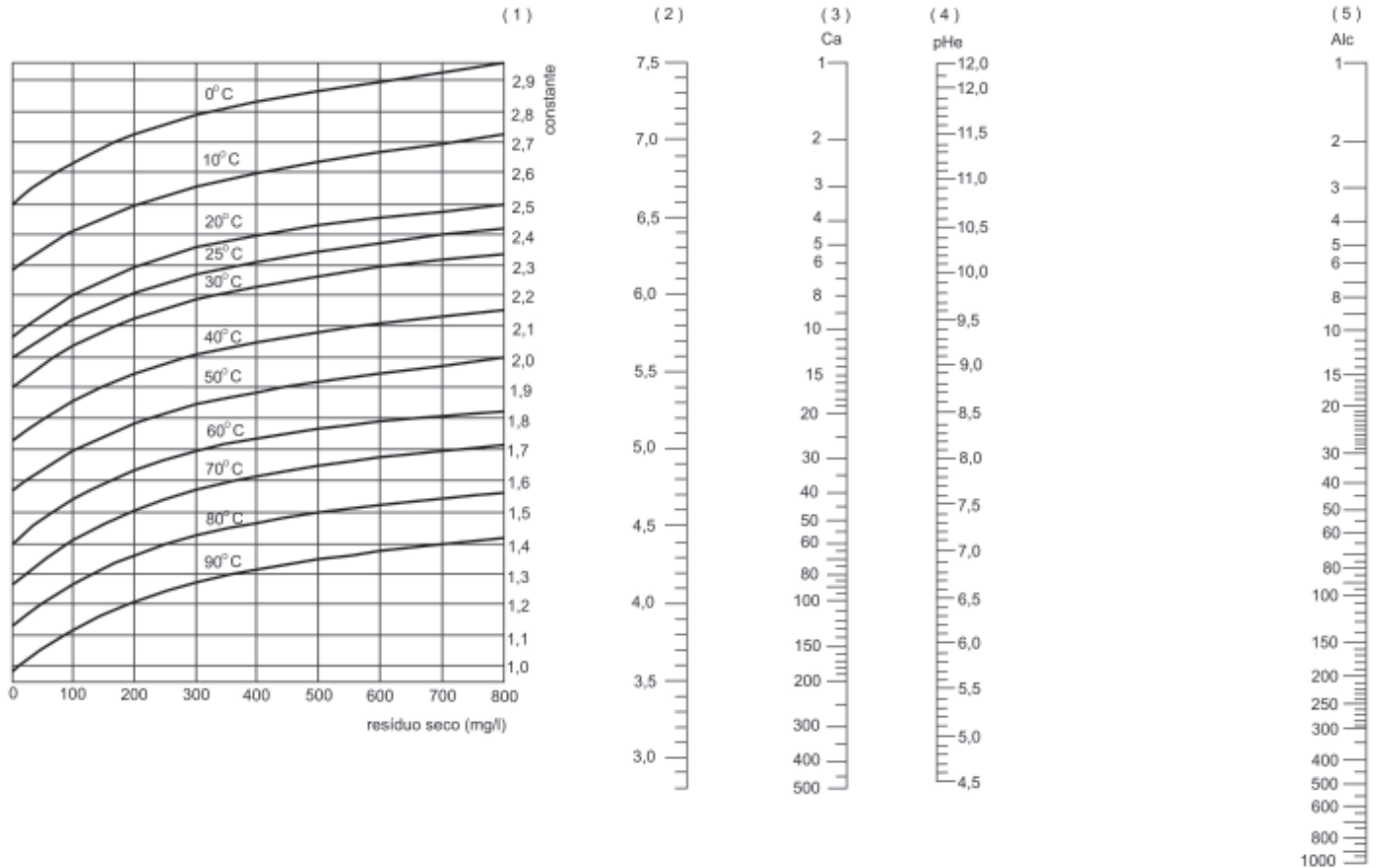
classificação do potencial de corrosão/incrustação das águas, segundo o índice de Ryznar

I			característica da água
4,0	a	5,0	muito incrustante
5,0	a	6,0	moderadamente incrustante
6,0	a	7,0	pouco incrustante ou corrosiva
7,0	a	7,5	corrosiva
7,5	a	9,0	francamente corrosiva
	>	9,0	muito corrosiva

O potencial redox, medido em milivolts, exprime a estabilidade de um íon sob determinadas condições ambientais de oxidação ou de redução. Os oxidantes potenciais são o oxigênio do ar, ferro trivalente, sulfato, nitrato e hidróxido de ferro; os redutores potenciais são a matéria orgânica, ferro bivalente, sulfeto e amônia.

Na ficha há espaços neste campo para inclusão de outros parâmetros de controle, dependendo das peculiaridades da área. Assim por exemplo, nas regiões semiáridas e no aqüíferos costeiros será interessante acompanhar a relação $Cl/HC0^3$ no sentido de detectar o grau de salinização da água durante a exploração do poço.

Durante a operação e por ocasião de reparos no equipamento de bombeamento é importante observar e anotar todo e qualquer sintoma de corrosão ou incrustação, como: consumo anormal de energia, material precipitado ao longo das tubulações, diminuição da vazão específica, saída de água ferruginosa.

gráfico e nomograma para determinação do pH de equilíbrio

Como determinar o pHe

- com os dados de temperatura e resíduo seco determinar a constante no gráfico da coluna (1)
- a partir deste ponto, traçar uma reta até o ponto correspondente ao valor da concentração de Ca na coluna (3) e determinar o ponto de intersecção na coluna (2)
- traçar uma nova reta, unindo o ponto da coluna (2) ao ponto correspondente ao valor de alcalinidade, na coluna (5)
- ler o valor do pH_e no ponto de intersecção desta reta com a linha da coluna (4)

4. AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

A avaliação global da massa de dados produzidos no decorrer de um ano de operação regular orienta-se para a detecção de problemas, delimitação das causas mais prováveis e determinação das providências a serem tomadas pelo setor de manutenção. Num primeiro nível, o processamento mensal e anual dos dados nas fichas apropriadas, tal como indicado, já implica num certo grau de avaliação de desempenho do sistema.

Trata-se, ademais, de proceder a uma avaliação de conjunto, integrando todos os aspectos que influem no desempenho do sistema. Esta tarefa requer a coordenação de pessoal experiente, junto aos supervisores responsáveis pela operação e pela manutenção.

A sequência de atividades necessárias na avaliação anual abrange:

- estudo do comportamento do nível estático no poço, em associação com os ciclos de bombeamento e as condições climáticas da área;
- estudo do comportamento do nível dinâmico em correlação com a vazão de bombeamento;
- estudo do comportamento da vazão específica e da eficiência do poço;
- exame das condições de funcionamento do conjunto de bombeamento ao longo do ano;
- determinação de possíveis modificações nos parâmetros físico-químicos da água, em associação com as condições de funcionamento do poço;
- listagem dos problemas ocorridos em cada unidade, durante o ano, e identificação das prováveis causas;
- revisão da freqüência de inspeções e medições e otimização do programa de operação;
- indicação de medidas necessárias ao programa de manutenção.

O comportamento do **nível estático** é analisado com base na forma da hidrógrafa, referida ao ano hidrológico. Interessa, sobretudo, observar as variações mais prolongadas de nível que, em geral, são de 4 tipos:

a) decaimento contínuo e progressivo do nível, significando que se está extraindo um volume de água superior à capacidade de recarga e armazenamento do aqüífero;

b) oscilação contínua, com os ramos ascendente e descendente correspondendo, mais ou menos, aos períodos de chuva e de seca, respectivamente;

c) oscilação irregular, ao longo do tempo, podendo indicar mudanças de ciclo de bombeamento em diferentes épocas do ano ou interferência causada pelo bombeamento de poços vizinhos;

d) relativa estabilidade do nível, indicando que o volume de água que está sendo extraído do aqüífero é compensado pela recarga.

A hidrógrafa dos **níveis dinâmicos**, quando estes são medidos de acordo com os critérios indicados, deve assumir uma forma concordante com a dos níveis estáticos e, portanto, suas oscilações podem ser interpretadas de modo correlato. Frequentemente, porém, a hidrógrafa poderá apresentar anomalias devidas a 3 causas principais:

a) medida inadequada, isto é, medição feita antes do nível atingir estabilização ou em horário diferente da medição de vazão;

b) anormalidade nas condições de trabalho do conjunto de bombeamento, por ocasião da medida;

c) variação da vazão.

Para verificar a causa da anomalia recorre-se ao registro diário; se os pontos anômalos forem devidos as duas primeiras causas, desprezam-se as medidas e corrige-se o gráfico; se a anomalia estiver associada à variação de vazão, deve ser avaliada junto com os dados de vazão específica e eficiência.

A **vazão específica** é um dos parâmetros mais úteis na avaliação de desempenho de um poço; quedas acentuadas no valor deste parâmetro são, em muitos casos, sinal de colmatação de seções filtrantes ou de um processo de incrustação. Em geral, quando o decréscimo ultrapassa os 10%, deve-se investigar as causas e alertar o setor de manutenção.

O valor da **eficiência** obtido do teste anual de produção deve ser comparado com o dado anterior; ao mesmo tempo, pela equação do poço, determinam-se os rebaixamentos devidos as perdas do poço e as perdas do aqüífero que, comparados aos valores anteriores, permitirão avaliar qual dos dois predomina na variação do rebaixamento total (ver item 3.1, capítulo II).

A verificação das condições de funcionamento do **conjunto motor-bomba** orienta-se para a detecção de anormalidades refletidas nas medidas de' nível d'água e vazão (problemas ligados a avarias ou desgaste de peças são encaminhados diretamente à manutenção). O exame comparado das fichas de registro diário de operação e de manutenção permitirá saber as causas das anormalidades. Em sistemas com motores elétricos, o estudo da variação da corrente de trabalho permite não somente saber a natureza do problema operacional mas, também, conferir a coerência das medidas de nível d'água e vazão. O consumo diário de energia tem relação direta com a vazão e o volume total bombeado e pode dar indicação adicional sobre a anormalidade. Em sistemas de bombeamento com ar comprimido, as anomalias no poço podem ser detectadas com facilidade: as pressões de trabalho podem ser transformadas em metros e servir de aferição para as medidas de nível. Em sistemas com motor de combustão interna, o volume de combustível consumido tem relação direta com o volume diário extraído e explica anomalias nas medidas de vazão; porém, a verificação de anomalias nas medidas de nível d'água depende das leituras no manômetro e da detecção de ruídos ou aquecimentos anormais do motor.

A **composição química** é um dos fatores que ajudam a diagnosticar se uma água será incrustante ou corrosiva. Águas duras, com mais de 300 mg/l de $CaC0_3$ e fortemente bicarbonatadas, com alcalinidade superior a 250 mg/l de $CaC0_3$ são potencialmente incrustantes. De igual modo, águas com pH acima de 7,5 ou teores de ferro e/ou manganês acima de 1 mg/l podem produzir incrustações. Águas de baixa salinidade, baixa alcalinidade, baixa dureza, baixo pH e elevado teor de CO_2 são potencialmente corrosivas. Não há, todavia, regras precisas para decidir se uma água será incrustante ou corrosiva. A investigação deve levar em conta outros fatores associados, como: as características construtivas do poço, suas condições hidráulicas e o regime de bombeamento.

A água subterrânea move-se no aqüífero em condições de fluxo laminar, lento, estando normalmente saturada de carbonato de cálcio em equilíbrio com uma certa quantidade de CO_2 dissolvido. Qualquer mudança nestas condições rompe o equilíbrio, dando origem a precipitações pela perda de CO_2. Quando a água é bombeada de um poço provaca-se um rebaixamento de modo a produzir a pressão diferencial necessária para gerar o fluxo através do poço. A diferença de pressão favorece a liberação de CO_2 que, dependendo do ambiente, precipitará o carbonato de cálcio nas vizinhanças do poço, no pré-filtro e/ou nas seções filtrantes. Poços com rebaixamento acentuados são mais susceptíveis à incrustação, tanto pela liberação de CO_2 quanto pela existência de um trecho maior de aeração (a partir do nível dinâmico até a boca do poço) que favorece a precipitação de ferro. Em idênticas condições, dependendo do ambiente, podem ter lugar os fenômenos de corrosão. Assim, ao se comparar os dados químicos de sucessivas análises deve-se, simultaneamente, verificar as possíveis mudanças nas condições de operação do poço.

Tendo examinado, um a um, todos os fatores da operação dos poços, o coordenador fará uma síntese dos problemas ocorridos durante o ano e reavaliará o programa de operação, ajustando-o às particularidades locais.Ao mesmo tempo, encaminhará as indicações e sugestões cabíveis ao setor de manutenção.

MANUTENÇÃO

1.INTRODUÇÃO

Um serviço permanente de operação e manutenção de poços, baseado em programas sistemáticos de caráter preventivo, certamente proporcionará benefícios na diminuição das despesas de energia e de depreciação de materiais e equipamentos; na racionalização do trabalho das equipes, padronização de materiais e equipamentos e redução dos estoques necessários, de modo a garantir a eficiência dos sistemas de abastecimento de água e assegurar o padrão sanitário exigido.

Um programa de manutenção preventiva consiste em assegurar inspeção nos poços nos prazos certos; efetuar o registro sistemático de medidas e informações sobre o comportamento do lençol subterrâneo, sobre as perdas hidráulicas nas captações e sobre a eficiência e durabilidade dos equipamentos e materiais em uso; detectar as prováveis causas dos problemas do poço e da bomba; organizar um serviço eficiente de suprimentos, baseado em almoxarifados regionais e locais, adequadamente localizados e dimensionados em função da distribuição geográfica dos poços em operação. Deste modo, a racionalização dos serviços minimiza a probabilidade de ocorrerem situações de emergência no abastecímento, como frequentemente ocorrem nas horas de máxima demanda de água, quando a manutenção é baseada em medidas aleatórias, de caráter puramente corretivo.

A prática de manutenção de tipo corretivo, adotada de forma rotineira e predominante em toda a parte, padece de distorção de base que consiste em atacar os problemas pelos efeitos imediatos, sem procurar investigar suas causas. E, mesmo assim, de forma parcial, dando atenção só às falhas mecânicas apresentadas pelos equipamentos e descuidando do que possa estar ocorrendo com o poço.

A natureza do problema que ocorre num poço durante a operação não é facilmente discernível. O processo de deterioração geralmente se desenvolve de forma lenta e gradual até um ponto crítico a partir do qual acelera-se rapidamente até o colapso. Se a natureza da deterioraçao for reconhecida a tempo, antes que atinja o ponto crítico, é possível reabilitar o poço. Daí porque assumem especial importância os procedimentos de operação sistemática na previsão de problemas e, por consequência, na indicação de pistas para a manutenção preventiva.

2. PROBLEMAS MAIS FREQUENTES EM POÇOS

A detecção da natureza do problema apresentado por um poço e, principalmente, de suas causas mais prováveis, requer o exame cuidadoso das variações das medidas e observações periódicas efetuadas, em associação com os registros de desempenho do equipamento de bombeamento. Para facilidade de abordagem da questão convém discriminar os poços tubulares em duas categorias, a saber:

a)poços perfurados em terrenos sedimentares;

b)poços perfurados em rochas duras, compactas.

Esta distinção é útil visto que uns e outros são em geral construídos segundo métodos e técnicas diferentes e, em decorrência, podem apresentar problemas peculiares durante a exploração. Com efeito, nas perfurações em terrenos sedimentares o fluxo d'água para o interior do poço se realiza através de aberturas na tubulação de revestimento, que incluem a abertura da extremidade inferior e os mais variados tipos de seções filtrantes (tubos rasgados, perfurados, ranhurados ou tubos filtros); nas perfurações em terrenos duros, compactos, a passagem de água se dá diretamente através de fendas, fraturas, fissuras e canais da própria rocha. Tendo em mente esta distinção, são analisados os problemas mais comuns e frequentes que podem ocorrer em poços e, a seguir, são fornecidos critérios para a procura e aplicação de soluções.

2.1 Identificação da Natureza do Problema e das Causas mais Prováveis

De modo geral, para efeito de análise, os problemas que ocorrem em poços podem ser classificados como de origem mecânica, hidráulica e de qualidade da água. Na prática esses processos atuam de forma combinada, tornando difícil a identificação do fator predominante.

problemas mecânicos

Os problemas de natureza mecânica são as obstruções dos filtros, a produção de areia, a deterioração da estrutura do poço e defeitos no equipamento de bombeamento.

As **obstruções das seções filtrantes** refletem-se em rebaixamentos progressivos do nível dinâmico, sem decaimento apreciável do nível estático, podendo ser detectadas na interpretação dos dados de operação. A diminuição da vazão específica e o incremento da perda de carga (termo CQ^2 ou CQ^n da equação do poço) são determinantes na detecção do problema. A procura das causas das obstruções, quando não são evidentes ou não foram previstas após a construção do poço, segue um processo de dedução e exclusão com base nas características do poço e na composição química da água. As obstruções podem ser causadas por acumulação de argila, silte ou areia no filtro e no pré-filtro; se for notada produção desses materiais na descarga do poço e se o perfil litológico indicar a sua ocorrência em trechos próximos às seções filtrantes, é muito provável que a obstrução seja devida a este fato. Outra causa de obstrução mecânica são os subprodutos da corrosão que se depositam nas seções filtrantes e no fundo do poço; se o índice de agressividade da água for elevado (indicando a possibilidade de corrosão), a água bombeada poderá apresentar turbidez ou a presença de resíduos, o que confirmará a causa; em processos avançados, a produção anormal de areia é forte indício da corrosão. Os subprodutos do metabolismo bacteriano podem, também, produzir obstruções; às vezes, quando se trata de bactérias de ferro, esta causa pode ser indicada por mudança de coloração da água bombeada; porém, na maioria dos casos, é de difícil detecção e requer a execução de análises bacteriológicas especiais.

A **produção de areia** em poços é, geralmente um problema originado pela corrosão e, por sua vez, indicador da existência da mesma. Outras causas de produção incrementada de areia são as seguintes:

- possíveis pontes intercaladas na coluna de pré-filtro, deixando seções filtrantes diretamente expostas à formação arenosa;
- recalque do material de pré-filtro, deixando os primeiros filtros descobertos, por falta de realimentação de pré-filtro durante a operação;
- ruptura da coluna de revestimento e filtros, geralmente nas juntas.

No caso de haver recalque do material de pré-filtro a detecção do problema é simples, bastando medir o nível do pré-filtro, através do tubo de alimentação, e compará-lo com o nível original.

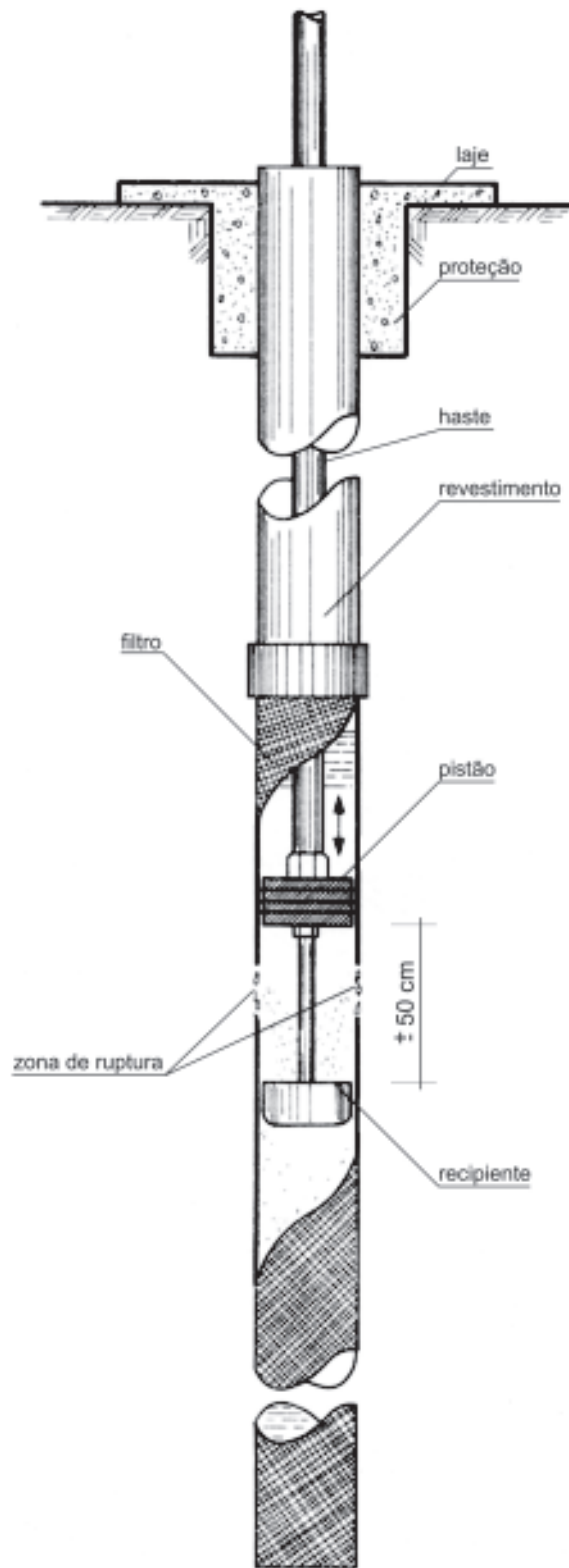
Nos outros casos, a identificação das causas requer, geralmente, a execução de análises sedimentológicas e mineralógicas das amostras do material retirado do fundo do poço. Comparando os resultados destas análises com aquelas efetuadas durante a construção do poço, é possível chegar a algumas conclusões úteis. Se o material produzido tiver granulometría sensivelmente maior que a de qualquer intervalo aqüífero explorado, ou semelhante a do pré-filtro, é sinal de que há ruptura na coluna de revestimento e filtros; ao realimentar a coluna de pré-filtro, se houver consumo exagerado de material, a suposição será confirmada. Se, inversamente, o material produzido tiver granulometria de diâmetro menor que o das aberturas do filtro, a causa mais provável do problema é a existência de pontes na coluna de pré-filtro. Se as conclusões anteriores não forem confirmadas, a causa da produção de areia poderá estar relacionada ao alargamento das aberturas do filtro por corrosão.

Existem equipamentos modernos utilizados para a localização em detalhe de zonas deterioradas, pontos de ruptura e outros problemas no interior do poço; os mais usados são os equipamentos fotográficos e de televisão em circuito fechado. Porém, um método fácil e acessível para localizar zonas deterioradas consiste na utilização do equipamento mostrado na Figura nº 13 - Dispositivo para detecção de zonas deterioradas em poços. Trata-se de um pistão comum de desenvolvimento de poço ao qual se adapta um recipiente de chapa de aço, por meio de um eixo de 0,5 metros de comprimento. Procede-se a um vigoroso pistoneamento nos trechos que se pretende examinar, durante aproximadamente 30 minutos; em seguida, retira-se o equipamento do poço e examina-se o recipiente, à procura de material do pré-filtro ou da formação. Se houver deposição de material, a zona deteriorada terá sido localizada com razoável aproximação.

A **deterioração da estrutura de um poço** é um problema cujos sintomas podem ser observados à superfície, manifestando-se em abatimento do terreno em torno do poço, na formação de gretas e sulcos convergentes e no rompimento da base de assentamento da bomba. Em alguns casos, o problema poderá estar relacionado a uma taxa de bombeamento acima da capacidade do aqüífero. Na maioria das vezes, no entanto, resulta do bombeamento excessivo de areia em poços mal desenvolvidos ou, mesmo, de colapso parcial ou total da coluna de revestimento e filtros.

Defeitos no equipamento de bombeamento durante a operação podem mascarar a detecção da verdadeira natureza do problema, induzindo à conclusão equivocada quanto à existência de defeito no poço. A diminuição da vazão de bombeamento, acompanhada de leve ascenso do nível dinâmico, é indício de defeito no equipamento instalado. As falhas mais comuns, cujos sintomas ajudam na identificação do problema, são as seguintes:

- desregulagem do conjunto de rotores e demais partes da bomba, com vibrações anormais do equipamento, devido a desgastes por abrasão, corrosão ou uso intensivo;
- cavitação nos rotores, devido à presença de ar ou gases na água bombeada (rotores “pipocando”);
- furos no tubo de descarga, produzindo ruído de “cachoeira”;
- entupimento do crivo da bomba;
- perda de submergência em compressores, com interrupções prolongadas na descarga;
- perda de sucção nas bombas de eixo horizontal, com interrupção na descarga.

laje
proteção
haste
revestimento
filtro
pistão
± 50 cm
zona de ruptura
recipiente

Frequentemente estas falhas se refletem em aquecimento anormal dos motores e consumo excessivo de energia elétrica ou combustível.

problemas hidráulicos

Os problemas de natureza hidráulica são aqui entendidos, por simplificação e facilidade de abordagem, como aqueles associados à queda de produção de água e à diminuição da vazão de bombeamento.

A queda de produção de um poço tem, em geral, as seguintes causas:

- taxa de bombeamento superior à taxa de recarga do aqüífero;
- taxa de bombeamento superior ao limite de produção do poço (superbombeamento) ;
- interferências provocadas por poços vizinhos;
- obstruções das seções filtrantes.

No primeiro caso, a detecção é feita através do exame da hidrógrafa do nível estático correspondente a um ciclo hidrológico completo; se houver decaimento progressivo e permanente do nível estático é sinal de bombeamento excessivo, "minando" o aqüífero. Os sintomas de superbombeamento se manifestam em decaimento acentuado do nível dinâmico sem queda significativa de nível estático, resultando em rebaixamentos excessivos no poço. Para confirmar esta causa, é necessário efetuar um teste de produção, comparar os resultados com os do teste anterior e verificar se o ponto crítico foi ultrapassado.

Os fenômenos de interferência podem influir na queda de produção de um poço, podendo ser detectados por oscilações bruscas e irregulares dos níveis d'água, durante o controle de operação.

Se nenhuma destas três causas ficar evidenciada, a investigação deve ser voltada para a possível obstrução das seções filtrantes ou do fundo do poço.

A diminuição da vazão de bombeamento do poço, sem que haja modificação apreciável dos níveis d'água é, geralmente, causada por defeitos no equipamento de bombeamento, tal como mencionado em item anterior.

Em poços perfurados em terrenos cristalinos o problema de queda de produção está, em geral, associado ao "esgotamento" parcial de uma ou mais zonas aqüíferas (entradas d'água), devido ao mecanismo restrito de circulação da água no decorrer da exploração; neste caso, a detecção se orienta pelo exame da curva de recuperação do poço, cuja conformação geral é anômala.

problemas de qualidade da água

Durante a exploração podem surgir problemas de corrosão ou de incrustação no poço, no aqüífero e no sistema de bombeamento, geralmente causados por mudanças nas características físico-químicas e bacteriológicas da água (ver capítulo III, item 4). Estas modificações podem estar associadas aos seguintes fatores:

- influência das condições de bombeamento da água, alterando o estado natural de equilíbrio físico-químico;
- expansão do cone de rebaixamento, atingindo zonas com água de composição físico-química diferente;
- incrementos acentuados de recarga no aquífero;
- contaminações produzidas durante a operação e manutenção do poço.

As **modificações nas características físicas** da água, embora não possam, por si próprias, servir para detectar por inteiro a natureza do problema, produzem efeitos que ajudam no diagnóstico.

A água bombeada pode apresentar **coloração** indicando, na maioria das vezes, um processo de obstrução. As colorações vermelha e "ferrugem" resultam da presença de compostos de ferro e/ou das chamadas "bactérias do ferro", indicando provável incrustação. Águas de coloração marrom ou parda indicam a presença de bactérias redutoras ou de compostos de manganês; em regiões de mangues, indicam a presença de matéria orgânica combinada com tanatos e gelatos. Águas amareladas geralmente indicam a presença de compostos derivados de oxidação do ferro, que podem ser produtos da corrosão.

Odor e gosto são indícios da presença na água de microorganismos, de gases dissolvidos (gás sulfídrico, metano, dióxido de carbono ou oxigênio), de substâncias minerais (cloretos, compostos de ferro, carbonatos e sulfatos e de fenóis). Uma água que apresenta odor e gosto característicos poderá estar ativando processos de corrosão ou de incrustação.

Variações de **temperatura** das águas subterrâneas podem acentuar o desenvolvimento de processos de deterioração de poços. Aumentos de temperatura provocam um decréscimo da viscosidade da água, incrementando a difusão de oxigênio e ativando o processo de corrosão. Um incremento de temperatura da ordem de 4 a 5° C pode duplicar o potencial de corrosão da água.

A **condutividade específica** está diretamente relacionada ao total de sólidos dissolvidos (TSD) na água; qualquer incremento de TSD é um acelerador da corrosão, que se torna severa quando este parâmetro é superior a 1000 mg/l. A condutividade está também associada ao aumento do teor de cloretos, notadamente em áreas litorâneas ou semi-áridas, o que aumenta a probabilidade de corrosão.

A turbidez da água de poços mais antigos é indicadora de problemas de natureza mecânica, como o colapso de seções filtrantes. Em poços novos, frequentemente resulta de desenvolvimento insuficiente durante a construção. A turbidez leitosa, quando provém de gases dissolvidos na água, pode produzir cavitação nos rotores da bomba.

A **atividade bacteriana** acarreta quase sempre problemas de incrustação e/ou corrosão em poços. A detecção da existência de bactérias na água é feita, inicialmente, com base em suas propriedades organolépticas e em análises bacteriológicas de rotina. Uma vez obtidos indícios de ação bacteriana, a identificação dos tipos de bactérias requer análise específica, sendo necessário coletar amostras mediante raspagem das partes internas dos filtros e remoção de material depositado no fundo do poço. As bactérias mais ativas nos processos de corrosão são as chamadas bactérias redutoras de sulfatos, anaeróbias, do gênero *Desulfovíbrio desulfuricans*. O potencial redox do solo e da água é um indicador do potencial de corrosão destas bactérias, de acordo com a relação da Tabela nº 6 - Atividade bacteriana de acordo com o potencial redox.

As bactérias aeróbias *Esteríchia Coli*, *Aerobacter Aerogens, Proteus Vulgaris* podem, também, causar corrosão. As chamadas "bactérias do ferro", *Gallionella* e os gêneros filamentosos *Clonotríx, Crenotrix e Leptotrix*, são muito importantes nos processos de incrustação.

atividade bacteriana de acordo com o potencial redox			
potencial redox (milivolt)			atividade bacteriana
	até	100	intensa
100	a	200	moderada
200	a	400	fraca
acima	de	400	nula

As **modificações nas características químicas** da água, provocadas por variações de pressão e velocidade durante a extração, são estimuladoras dos processos de incrustação e de corrosão em poços (ver capítulo III - item 4)

A incrustação química consiste na precipitação e deposição do material nas seções filtrantes, no pré-filtro, no próprio aqüífero, na bomba e até nas tubulações de água; o material incrustante é constituído principalmente por carbonato de cálcio acompanhado de silicato de alumínio, sulfato de ferro e outros minerais contidos no aqüífero. Os estudos modernos do fenômeno apoiam-se na teoria eletrocinética que explica suas causas da seguinte maneira:

- durante o bombeamento de um poço, o fluxo de água incrementa o fluxo de potencial elétrico que atua como catalizador nas reações de incrustação;
- o processo de incrustação se desenvolve nas superfícies metálicas quando estas estão carregadas negativamente.

Um dos primeiros sintomas de incrustação é o aumento de consumo de energia da bomba, refletindo perda de eficiência do poço. A confirmação pode ser feita pela inspeção do equipamento de bombeamento que geralmente apresenta material depositado no crivo e nas vizinhanças; a interpretação dos resultados de análises químicas sucessivas indicará as variações dos parâmetros que atuam no processo. Há casos de poços em que operadores experientes são capazes de detectar o grau maior ou menor de incrustação nas tubulações através dos diferentes sons produzidos por batidas no tubo de descarga, com objeto metálico.

O fenômeno de corrosão em poços resulta de reação química ou eletroquímica da água em contato com a estrutura metálica do poço; sua ocorrência é sempre possível em qualquer instalação de extração de água subterrânea porque a água é quimicamente ativa e tem características de eletrólito. A corrosão de natureza química está relacionada à presença de CO_2, O_2, H_2S, ácidos orgânicos e sulfatos de ferro na água e resulta na diminuição da espessura do metal, chegando a produzir perfurações; o poço perde resistência, as aberturas dos filtros são alargadas e pode haver passagem de areia. A corrosão de tipo eletroquímico se produz basicamente de duas maneiras:

- corrosão seletiva, em que um dos componentes da liga metálíca é removido (ânodo), deixando o outro enfraquecido (cátodo) e, por isso, eventual receptor dos produtos da corrosão;
- corrosão bimetálica, produzida pela geração de corrente elétrica no meio do condutor em contato com dois metais diferentes; é o caso de poços em que o material do filtro é diferente do revestimento ou, ainda, em que as uniões e soldas são de metais diferentes.

A identificação da corrosão em poços, salvo quando está avançada e o material produzido sai no bombeamento, é difícil de ser feita. Torna-se pois, fundamental o controle através de sucessivas análises químicas no sentido de detectar incrementos nos parâmetros atuantes no processo.

Um dos componentes mais vulneráveis à corrosão é o equipamento de bombeamento instalado no poço, devido às condições de trabalho a que está submetido e aos materiais usados em sua fabricação. Os rotores das bombas são geralmente de bronze, estando sujeitos à corrosão seletiva (deszincificação). O fluxo turbulento e os correspondentes incrementos de velocidade da água ao passar pelo reduzido espaço entre a câmara de bombeamento e a bomba favorecem o maior escapamento de gases contidos na água, provocando corrosão mais rápida e severa na bomba e no tubo de descarga, junto com provável cavitação nos rotores. Às vezes, em bombas de motor submersível, utilizam-se arames de cobre para amarrar os cabos elétricos à tubulação de descarga, o que provoca reações eletroquímicas que acarretam forte corrosão no tubo. Desta maneira, deve-se ter em mente que podem ocorrer situações em que o processo de corrosão quase não se manifesta na estrutura metálica do poço, porém, pode atacar severamente a bomba. Neste caso, será necessário retirá-la do poço com maior freqüência e inspecioná-la.

2.2 Aplicação de Soluções; Recondicionamento de Poços

Como foi visto, a investigação das causas dos processos de deterioração em poços é complexa pois, frequentemente, atuam diversos fatores interrelacionados. Uma vez detectado o problema, ao se procurar o método mais adequado de solucioná-la e ao se executar os serviços necessários, uma dificuldade objetiva se antepõe: os filtros e demais partes vulneráveis do poço não podem ser submetidos à inspeção visual nem tampouco os reparos efetuados podem ter controle direto, na maioria dos casos. Desta maneira o recondicionamento de poços, quando requer a execução de serviços em sua estrutura interna, está sujeito a riscos. Um planejamento dos trabalhos a serem efetuados, visando garantir sua eficácia e diminuir a margem de risco, deve levar em conta os elementos básicos da história do poço, a saber:

- relatório técnico do poço, quando de sua construção (ver modelo apresentado no capítulo II - item 2);
- resultados da primeira análise físico-química da água;
- sumário do controle de qualidade química da água durante a operação;
- sumário do controle anual de operação;
- sumário do controle anual de manutenção.

São dadas, a seguir, algumas linhas orientadores para o recondicionamento de poços, de acordo com a causa predominante do problema apresentado. Convém lembrar que cada poço tem sua própria história e, portanto, deve ser objeto de um plano específico de trabalho, quando se trata de recondicionamento; por isso as indicações aqui apresentadas têm um certo grau de generalidade, requerendo tratamento mais pormenorizado em cada caso específico.

obstrução

O tipo de obstrução aqui referido é o de natureza mecânica, resultante da colmatação de filtros e deposição de materiais no perímetro do poço (frontalmente aos filtros) ou no fundo do poço. Neste caso, trata-se de proceder à sua estimulação, utilizando métodos semelhantes aos de

desenvolvimento de poços durante a construção. O método mais recomendável é o de pistoneamento com pistão de válvula, nos trechos correspondentes às seções filtrantes, devendo o trabalho obedecer aos seguintes procedimentos:

- medir a profundidade real do poço; se for constatada redução da profundidade por acúmulo de material no fundo do poço a primeira atividade a ser feita é removê-lo com a utilização de caçamba;
- efetuar o trabalho de pistoneamento partindo do topo da primeira seção filtrante, de cima para baixo, tendo o cuidado de, em cada trecho colocar o pistão 1,0 m acima do filtro;
- fazer a limpeza com caçamba depois de pistonear cada trecho e verificar a quantidade de material removido.

Quando o material de obstrução for constituído principamente de lama, é conveniente utilizar polifosfato, de modo a tornar a estimulação mais eficiente; antes de iniciar o pistonemanto, coloca-se a solução de polifosfato (hexametafosfato de sódio) no poço, na proporção de 20 kg para cada 500 l d'água, agita-se a solução dentro do poço com pistão, aguarda-se de 2 a 3 horas e, então, inicia-se a operação de pistoneamento.

A confirmação da melhoria das condições do poço é feita por comparação de suas características hidráulicas (principalmente a vazão específica) imediatamente antes da estimulação e depois dela.

queda de vazão ou de produção

A queda de produção motivada por problemas de natureza hidráulica no aqüífero e no poço tem soluções relativamente simples; embora, quase sempre, resultem em redução do volume total de água desejado e, por isso mesmo, as pessoas resistam em aplicá-las, são necessárias para garantir a operação normal do poço.

Num poço com evidência de superbombeamento e de taxa de extração excessiva, o único remédio adequado é reduzir e regular a vazão de exploração. Se isto implicar em déficit em relação à demanda de água exigida, deve-se perfurar mais poços. O que não é correto, embora seja largamente praticado, é simplesmente recorrer à "solução" de descer o crivo da bomba à maior profundidade. Esta medida paliativa resultará em aumento do rebaixamento, para uma vazão igual ou levemente superior à que vinha sendo bombeada, com maior probabilidade de deterioração e diminuição da vida útil do poço e, além disso, tornando o bombeamento anti-econômico.

Quando se trata de queda de vazão no poço, sem evidência de decaimento significativo dos níveis d'água, o defeito deve estar relacionado ao equipamento de bombeamento. Torna-se necessário retirar a bomba e fazer os reparos necessários.

prevenção e tratamento da incrustação

Não existe maneira de evitar por completo a incrustação produzida em poço, mas é possível atenuar os processos através das seguintes medidas:

- reduzir a vazão de bombeamento, mantendo o menor rebaixamento possível, e aumentar o tempo de operação; para esta providência talvez seja necessário trocar a bomba por outra de menor capacidade que possa funcionar continuamente;
- se houver déficit no volume total de água requerido pelo sistema, efetuar a exploração com mais poços, convenientemente distribuídos e com vazões e rebaixamentos moderados;
- efetuar limpeza e tratamento periódicos, quando da realização da manutenção geral do sistema.

Para realizar um tratamento eficaz da incrustação é necessário conhecer sua composição procedendo a análise do material e comparando os resultados com os da água. A coleta de amostra do material incrustante pode ser feita através de raspagem da superfície interna dos filtros, com um disco delgado de diâmetro um pouco menor do que o diâmetro interno da coluna, colocado na haste de uma perfuradora de modo semelhante a um pistão. Se o material incrustante contiver, predominantemente, carbonatos de cálcio e magnésio e hidróxido de ferro, o tratamento mais adequado é com ácido clorídrico ou com ácido sulfâmico.

Se o material da amostra contiver 20 % ou mais de compostos de ferro ou manganês, é provável que exista um processo combinado de incrustação e corrosão; neste caso, quando a razão molecular do hidróxido de ferro para sulfato de ferro é maior que 3:1 indica a existência de bactérias redutoras de sulfatos. O tratamento adequado, nestas condições, consiste em alternar aplicação de ácidos e de cloro, de modo a remover os produtos de incrustação e as bactérias.

a) tratamento com ácido muriático - na aplicação de ácido hidroclórico ou muriático utiliza-se o tipo comercial, de concentração 27,92 % (18° Baumé), sem diluição, misturado com uma substância inibidora na proporção de 100 g para cada 100 l de ácido; esta substância pode ser gelatina incolor e sem sabor. Calcula-se o volume de água contido em cada seção filtrante; o volume de ácido necessário é o dobro do de água. A operação é feita da seguinte maneira:

- desce-se uma tubulação de plástico de 1" de diâmetro até a base do filtro inferior;
- verte-se a solução no tubo, por meio de um funil e, em seguida, ergue-se lentamente o tubo até a parte superior do filtro;
- repete-se a operação para as demais seções filtrantes; ao final, deixa-se a solução em contato com os filtros por um período de 1 a 6 horas, dependendo do grau de incrustação;
- pistoneia-se o poço durante uma hora e, duas horas depois, faz-se a limpeza com compressor ou caçamba, até que a água saia limpa e com pH próximo ao valor anterior ao tratamento;
- efetua-se um teste expedito de bombeamento; se a vazão específica não tiver sofrido aumento apreciável, repete-se a operação.

b) tratamento com ácido sulfâmico - o ácido sulfâmico é mais vantajoso no tratamento da incrustação que o ácido hidroclórico por ser granulado, de fácil manejo e ter menor capacidade de ataque aos metais.

Na aplicação, prepara-se uma pasta fluída constituída dos seguintes ingredientes para 1 000 l de água: 30 kg de ácido sulfâmico, 20 kg de ácido cítrico, 1,5 kg de um agente umectante, 40 kg de dimetilureia e 150 kg de sulfato do sódio. A operação segue a mesma sistemática indicada para a do ácido muriático; porém, o tempo de contato da solução no poço deve ser mais prolongado, de 6 a 12 horas, porque sua ação é mais lenta.

No caso mencionado, em que os componentes de ferro ou manganês excedem a 20 % do material incrustante, agrega-se à solução sal de Rochele, para manter os precipitados em suspensão; emprega-se 1 kg de sal para cada 5 l de solução de ácido hidroclórico ou 1 kg de sal para cada 15 kg de ácido sulfâmico.

c) tratamento com cloro - o tratamento dos poços com cloro é mais efetivo que o dos ácidos para retirar crescimentos bacterianos e depósitos de lamas de ferro. As concentrações de cloro devem ser altas (200 a 500 mg/l de cloro livre). As fontes de cloro podem ser soluções de hipocloritos de cálcio ou sódio, ou cloro líquido.

A aplicação efetua-se da mesma forma que com os ácidos em solução: coloca-se uma tubulação de 1" ou 3/4" até o fundo do filtro. No caso de soluções de hipocloritos, verte-se a solução pelo tubo, por meio de um dosificador, vagarosamente.

No caso do cloro líquido, acopla-se a tubulação ao cilindro e introduz-se a quantidade de cloro necessária, também vagarosamente. Agita-se a água com pistão ou outro método similar, por 1 hora. Deixa-se o poço em repouso por 2 horas e extraem-se os produtos da desincrustação, com a caçamba ou ar comprimido.

d) tratamento com polifosfatos - os polifosfatos ou fosfatos cristalinos, como são chamados comumente, dispersam argilas, lodos, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês. Os materiais dispersados podem ser extraídos facilmente com bombeamento. Geralmente são usados junto com soluções de hipocloritos, para obter o efeito de remoção das "bactérias do ferro" e de desinfecção dos poços. A dosificação mais usada é a de 20 kg de pollfosfatos por 500 l de água no poço. A aplicação é similar à dos tratamentos com ácidos e cloro, pistoneando posteriormente por 1 hora, deixando o poço em repouso por 3 horas e bombeando até obter água limpa.

e) desincrustação de zonas fraturadas - as fraturas e outras aberturas em poços perfurados em rocha cristalina também estão sujeitas à incrustação. Neste caso a aplicação de ácidos pode produzir bons resultados. A operação é semelhante a dos poços com filtros, requerendo especial atenção na forma de pistoneamento. Quando o tubo de boca atinge profundamente de 3 a 5 metros abaixo do nível d'água, o pistoneamento deve ser vigoroso dentro do tubo; quando, porém, o tubo de boca não estiver à profundidade adequada, dentro da água, torna-se necessário instalar um tubo auxiliar, ancorado e selado à superfície, de modo a permitir o pistoneamento. Uma vez colocada a solução nos trechos correspondentes às zonas fraturadas, pistoneia-se o poço no trecho do tubo em períodos de 20 a 30 minutos, seguidos de descanso de 1 hora, com duração total de 8 horas e, faz-se a remoção do material com caçamba ou compressor.

O uso de explosivos pode ser eficaz na desincrustação de fraturas, mas requer condições adequadas do meio (rocha compacta) e pessoal especializado. Como as incrustações penetram nas fraturas a curtas distâncias, podem ser usadas pequenas cargas de dinamite de 50 % a 60 %, dispostas de dois em dois metros frontalmente aos trechos fraturados, com o cuidado de evitar explosões a menos de 20 metros da extremidade inferior do tubo de boca.

limpeza e desinfecção

Uma vez ao ano e sempre que for realizado algum serviço de manutenção do poço e do equipamento de bombeamento, é necessário proceder a limpeza e desinfecção da unidade.

Uma limpeza de poço significa:

- remover com caçamba ou ar comprimido todo o resíduo acumulado no fundo do poço, restabelecendo a profundidade original;

- pistonear o poço com pistão de válvula, a baixa velocidade (cerca de 30 batidas por minuto), durante 2 ou 3 horas e, verificar os resultados; se não houver acúmulo de resíduos no fundo do poço, passar o pistão por toda a coluna e, mais uma vez limpar;
- fazer a limpeza da bomba, do tubo de descarga e dos cabos e eletrodos.

Após a execução de qualquer serviço no poço, é fundamental proceder a sua desinfecção com hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio. O hipoclorito de cálcio é mais usado por ser mais conveniente; porém, quando o teor de cálcio na água do poço for superior a 300 mg/l deve-se evitar o seu emprego.

O hipoclorito é encontrado em solução; praticamente todos os alvejantes comerciais são soluções deste tipo de hipoclorito. As concentrações de cloro, quando se trata de bactérias patogênicas, devem ser de aproximadamente 100 mg/l. Para efetuar a desinfecção recomendam-se os seguintes procedimentos:

- calcular o volume de água contido no poço; para tanto, uma maneira prática, embora aproximada, é usar a fórmula

$$V = \frac{d^2}{2} \times H$$ em que:

V é o volume de água, em metros cúbicos;

d é o diâmetro do poço, em polegadas;

H é o comprimento da coluna d'água no poço

- calcular a quantidade de hipoclorito a ser usado, com o auxílio das tabelas seguintes:

quantidade de hipoclorito de cálcio para cada m³ de solução

concentração de cloro (mg/l)	hipoclorito (gramas)
100	140
150	200
200	300
300	400
400	500

volume de alvejante para cada m³ de solução

concentração de cloro (mg/l)	litros de alvejante a		
	5%	7%	8%
100	2,0	1,4	1,0
150	3,0	2,1	1,5
250	4,0	2,8	2,0
300	6,0	4,3	3,0
400	8,0	5,7	4,0

- efetuar a desinfecção com o equipamento de bombeamento instalado;
- verter a solução de cloro no poço e, após 30 minutos, ligar a bomba, fazendo com que a descarga retome ao poço durante algum tempo; a seguir, testar o teor de cloro na água do poço e, se for inferior à concentração requerida, adicionar mais solução;
- deixar a solução no poço por um período de 6 horas;
- bombear, então, o poço até que a água saia sem gosto ou odor de cloro e a concentração de cloro residual seja muito baixa.

3. DEFEITOS MAIS COMUNS EM BOMBAS

No âmbito do manual, tendo em vista seus objetivos gerais, não é possível tratar em pormenor todo e qualquer defeito que possa ocorrer em equipamento de bombeamento. Cada tipo de bomba tem algumas características peculiares de fabricação, sendo recomendável recorrer aos manuais do fabricante e aos serviços de assistência técnica por eles prestados, sempre que o equipamento apresentar falhas pouco comuns.

Os equipamentos mais largamente utilizados no país são, em ordem decrescente: bombas de motor submersível, bombas centrífugas com ou sem ejetor, bombas de motor à superfície (eixo prolongado), compressores e cataventos com ou sem motor. Nos quadros seguintes são fornecidas indicações sobre os defeitos mais comuns em bombas, visando orientar o operador quanto a execução de alguns serviços básicos de manutenção.

É importante advertir que algumas das falhas frequentemente apresentados pelos equipamentos decorrem de instalação deficiente. Particularmente no caso das bombas de motor submersível, alguns problemas podem ser minimizados se forem tomados certos cuidados na instalação e operação, como:

- instalação de eletrodos de controle de nível d’água; a disposição dos dois eletrodos deve ser tal que, uma vez desligada a bomba, decorra um período mínimo de 8 minutos para o reinício do funcionamento;
- regulagem do relé de nível a cada 2 ou 3 meses;
- instalação de pára-raios, com o cuidado de que sua ligação seja feita completamente independente do quadro de comando.

bombas centrífugas com ou sem ejetor: falhas mais comuns		
falha	**causa provável**	**como corrigir**
bomba funciona mas não extrai água	• a bomba e a tubulação não estão cheias de água • motor com rotação insuficiente • a bomba está girando ao contrário • entrada de ar na tubulação ou na carcassa	• escovar a bomba • ajustar a tensão do motor • fazer a ligação certa • vedar as conexões
bomba fornece vazão inferior à normal	• entrada de ar pela sucção • a rotação do motor está abaixo do normal • rotor e a válvula de pé parcialmente entupidos • rotor gasto ou danificado	• vedar as conexões • controlar a tensão e a corrente • desobstruir o rotor ou a válvula de pé • substituir o rotor
bomba perde escorvamento depois da partida	• entrada de ar pela sucção • presença de ar na água • entrada de ar pela graxeta	• vedar as conexões • usar bomba auto-escorvante • recolocar o selo mecânico ou os anéis
bomba sobrecarrega o motor	• rotação acima do normal • altura manométrica total inferior ao previsto e vazão superior à capacidade • atrito mecânico na bomba	• ajustar a tensão • reduzir e controlar a vazão por meio de registro • desmontar e revisar peças
bomba vibra	• base de assentamento mal feita, sem rigidez • bomba mal alinhada em relação ao motor • rotor desajustado • eixo torto • atrito mecânico anormal • rolamentos gastos nos mancais da bomba • bomba não escorvada • desgaste por cavitação	• consertar a base • desmontar a bomba, fazer revisão geral e substituir as peças desgastadas

bombas de eixo vertical: falhas mais comuns		
falha	**causa provável**	**como corrigir**
bomba fornece vazão inferior à normal	• incremento da altura manométrica total • vazamento no tubo de descarga ou de sucção • desajuste dos rotores; cavitação; eixos tortos • baixa velocidade • obstrução do crivo	• localizar a causa; redimensionar o recalque • substituir a seção danificada • ajustar os rotores; substituir peças desgastadas • ajustar tensão • retirar a bomba, limpar o poço, limpar o crivo
bomba dá partida com pouca ou nenhuma vazão	• rotação invertida eixo solto ou quebrado • nível d´água abaixo do crivo ou do ponto de sucção • eixo travado por sedimento ou obstrução total do crivo	• revisar as fases do motor, refazer o acoplamento motor-bomba • regular a vazão por meio de válvula e redimensionar a posição dos eletrodos de controle de nível • retirar a bomba, limpar o poço, limpar o crivo
bomba vibra	• lubrificação defeituosa da coluna • eixos tortos ou parcialmente travados; rolamentos desgastados	• revisar os mancais • retirar a bomba e substituir as peças desgastadas
bomba com ruídos anormais	• cavitação; rotores desgatados • lubrificação defeituosa da coluna	• substituir os rotores • revisar os mancais
sobrecarga no motor	• velocidade muito alta • mancais desgastados • rotores e/ou eixos parcialmente travados • graxetas muito apertadas	• ajustar a tensão ou a aceleração • substituir as peças defeituosas • desmontar a bomba e fazer revisão geral

4. DIRETRIZES DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A implantação de um programa de manutenção preventiva requer uma estreita articulação com as atividades de operação. A avaliação sistemática dos dados de operação de poços conduz a previsão dos problemas que poderão ocorrer no sistema e a consequente indicação de pistas e alertas para o setor de manutenção. Se as atividades de manutenção preventiva forem programadas em correspondência com as de operação, será possível diagnosticar a causa do problema e efetuar a correção adequada no devido tempo. Na Tabela nº 10 - Sumário do programa de manutenção preventiva, são indicadas as atividades essenciais de mantutenção a serem desenvolvidas de forma sistemática.

4.1 Infraestrutura e Equipamentos

Um serviço de manutenção convenientemente estruturado necessita de infraestrutura compatível com a quantidade e distribuição das unidades em exploração, de modo a garantir a continuidade e eficiência do funcionamento do sistema. São partes essenciais da infraestrutura:

- equipamentos de medição e controle, de instalação permanente ou de uso eventual, junto a cada unidade de bombeamento;
- conjuntos motor-bomba de reserva e peças essenciais de reposicão;
- unidade volantes de manutenção, devidamente equipadas;
- serviço de suprimentos, baseado em almoxarifado;
- oficina eletromecânica;
- serviço de comunicação.

Os equipamentos de medição e controle foram especificados no capítulo II - item 3.5, abrangendo os de instalação permanente (hidrômetro, totalizador de horas, medidor de nível d'água e tubulação auxiliar, manômetro) e os de uso intermitente ou eventual (aparelhos para determinação química, medidor de areia).

A previsão e dotação do estoque necessário de conjuntos motor-bomba de reserva e de peças essenciais de reposição depende da quantidade de unidades instaladas, do tipo de equipamento e da intensidade de operação de cada unidade, não podendo, portanto, estar sujeita a uma norma geral. Num campo de poços é recomendável, sobretudo, instalar conjuntos de tipo similar, de modo a tornar mais flexível o estoque de peças de reposição e ter menos problemas de operação e manutenção. Além disso, é conveniente dispor de um ou mais conjuntos de reserva, para fazer face a situações de emergência. Porém, estes conjuntos de reserva não devem ficar armazenados e inativos; devem prestar serviços em constante rodízio com os demais. Em sistemas de abastecimento de pequeno porte o equipamento de reserva poderá garantir a operação. Em sistemas maiores ou nos casos em que os poços se acham distribuídos em vários municípios, será necessário dispor de almoxarifados convenientemente localizados, dotados de estoque de peças essenciais de reposição. Estas peças ou partes de bombas são as que sofrem desgaste mais rapidamente, de acordo com o tipo de bomba; em geral, incluem rotores, rolamentos, gaxetas, juntas e acoplamentos, segmentos de eixo, injetores e válvulas de pé.

sumário do programa de manutenção preventiva				
inspeções e atividades	freqüência			
	diária	mensal	semestral	anual
tempo de funcionamento do conjunto	x			
volume extraído	x			
consumo de energia ou combustível	x			
condições de trabalho do conjunto	x			
inspeção e serviços		x	x	x
interpretação de dados		x		x
avaliação de desempenho do sistema				x

Os serviços de manutenção de um campo de poços podem ser feitos com maior eficiência e agilidade se forem estruturadas uma ou mais unidades volantes de manutenção, dotadas de pessoal apropriado e dos equipamentos, ferramentas e materiais necessários. Uma unidade volante constitui-se de veículo adaptado, com instalação permanente dos seguintes equipamentos:

- tripé metálico ou torre;
- talha ou guincho;
- morsa sobre bancada;
- chaves grifos de vários tamanhos;
- tarrachas para tubos;
- jogo de chaves de boca;
- corta-frio;
- cortador de tubos;
- jogo de chaves de fenda;
- serra manual para metal;
- abraçadeira de tubos;
- vedantes de conexões;
- peças várias de reposição;
- máquina de solda e oxiacetileno.

Quando os poços em operação distribuem-se por áreas extensas, abrangendo várias localidades, é conveniente estruturar, além do almoxarifado central e de uma oficina eletromecânica, núcleos descentralizados de manutenção, de modo a garantir pronto atendimento aos problemas apresentados nas correspondentes áreas de atuação. Este esquema de apoio logístico já é realizado com eficiência em alguns estados. Cada núcleo de manutenção, responsável por um determinado número de localidades, é auto-suficiente para os serviços de rotina, contando com pequeno almoxarifado e oficina e com uma ou mais equipes ou patrulhas de manutenção que percorrem sistematicamente os poços, sob a coordenação de um profissional experiente; cada patrulha é composta por um eletricista e um mecânico e a unidade volante dispõe de serviço de rádio.

4.2 Inspeções

Um programa de manutenção preventiva deve incluir os serviços e verificações de rotina e inspeções periódicas nas unidades de bombeamento.

As atividades de rotina consistem em fazer a verificação geral do bom funcionamento do sistema em cada turno de bombeamento, em manter sempre limpa a casa de máquinas e cuidar do saneamento da área em torno do poço. Em cada unidade de bombeamento o encarregado de manutenção cuidará de:

- manter perfeita limpeza nas proximidades do poço, evitando jogar lixo, restos de óleo, estopas usadas e tudo o que possa resultar em foco de contaminação;
- evitar a qualquer custo que óleo, detritos ou objetos caiam dentro do poço;
- manter a limpeza e boa aparência da casa de máquinas, da bomba e motor e do quadro de comando;
- inspecionar as tubulações e conexões, evitando qualquer tipo de água;
- observar o aquecimento do motor pelo toque manual ou pela leitura dos instrumentos no quadro de comando (corrente alta);
- verificar as peças de proteção do sistema no quadro (fusíveis, relés); no caso de bomba submersa, manter o relé de nível sempre limpo e isento de umidade;
- escutar possíveis ruídos ou vibrações anormais da bomba dentro do poço, especialmente no momento da partida;
- verificar, no quadro de comando, a tensão e a corrente de trabalho e, no manômetro, a pressão hidráulica do sistema;
- observar se a água bombeada contém areia ou torna-se turva;
- não esquecer de anotar na ficha diária toda e qualquer anormalidade observada.

As inspeções periódicas e gerais nas unidades de bombeamento devem ter programação compatível com a intensidade de operação e o tipo de equipamento instalado. Não se pode recomendar, evidentemente, os mesmos períodos de inspeção tanto para equipamentos que trabalham poucas horas por dia como para os que trabalham de 20 a 24 horas diárias. Na Tabela, nº 11 - Instruções gerais para inspeção de conjuntos de bombeamento, sugere-se um roteiro geral de manutenção preventiva que poderá ser adaptado às peculiaridades de cada sistema.

4.3 Processamento e Controle de Dados

controle diário

O controle diário de manutenção deve ser entendido como a observação das condições de funcionamento do sistema poço-bomba, não se limitando, portanto, à simples inspeção do conjunto de bombeamento. Para efetuar este controle sugere-se por conveniência e maior fidelidade no registro das medidas, leituras e observações, manter duas fichas distintas e complementares, que são:

- ficha de controle diário de operação
- ficha de controle diário de manutenção

A ficha de controle diário de operação, apresentada e descrita no capítulo III - item 2, destina-se principamente ao registro dos dados hidráulicos do poço, ou seja, as medidas de níveis d’água, vazão e volume total produzido. A ficha de controle diário de manutenção é destinada ao registro das condições de funcionamento do sistema, das ocorrências observadas e dos serviços efetuados.

instruções gerais para inspeção de conjuntos de bombeamento	
período	**inspeção**
mensal	• verificar o bom alinhamento da bomba em relação ao motor • reapertar as gaxetas da bomba, se necessário • verificar, por toque manual, se a temperatura dos mancais está acima do normal; se isto ocorrer, é sinal de que os rolamentos estão com falta ou excesso de graxa
semestral	• verificar o bom alinhamento do conjunto motor-bomba • renovar as gaxetas • examinar o eixo da bomba no local das gaxetas; se houver estrias, as gaxetas novas podem se estragar rapidamente • verificar se a tubulação está fazendo pressão sobre a bomba, o que não deve acontecer • verificar e testar a pressão da bomba, por meio do manômetro • examinar se as borrachas das uniões Dresser estão danificadas
anual	• retirar a bomba do poço, desmontá-la e fazer revisão geral • substituir as peças desgastadas ou danificadas; fazer limpeza completa dos rotores ou pistões e demais partes internas da bomba • renovar lubrificação dos mancais • limpar a válvula de retenção e a válvula de pé • em bombas de motor submerso, verificar a água do motor e os selos • em bombas de eixo prolongado, examinar os mancais e o alinhamento dos eixos • em bombas a ar comprimido, examinar os tubos e conexões de ar e de água e limpar o injetor • fazer teste expedito de eficiência do conjunto

A ficha-modelo sugerida para manutenção (Formulários nº 8, nº 9 e nº 10 - Registros diários de manutenção: bomba com motor diesel, bomba de motor elétrico e motor/compressor) inclui elementos de identificação do poço, características do conjunto de bombeamento instalado, quadro para anotação de leituras e ocorrências e espaço para registro dos serviços ou reparos executados. A mesma ficha é apresentada em três variantes, de acordo com o equipamento instalado, a saber:

- poço com equipamento motor-compressor;
- poço com bomba de motor elétrico;
- poço com bomba de motor de combustão interna.

controle mensal

O controle mensal de manutenção deve ser feito por um supervisor capacitado que fará inspeções em cada unidade de bombeamento e, a partir das informações do registro diário, fará uma síntese do desempenho do sistema.

A ficha-modelo sugerida para o processamento mensal dos dados de manutenção (Formulário nº 11 - Controle mensal de manutenção) inclui: elementos de identificação da unidade de bombeamento; totais mensais referentes a números de dias de funcionamento, número de horas de operação, volume de água extraído, energia consumida e vazão média; diagrama para acompanhamento gráfico dos dados mensais referentes a consumo de energia e volume de água

produzido; campo para especificação dos serviços de manutenção executados durante o mês e espaço para observações gerais e recomendações. Para o preenchimento da ficha é necessário e recomendável recorrer aos dados de operação, o que requer um trabalho conjunto dos supervisores responsáveis, de modo a manter o controle atualizado e coerente.

controle anual

O controle anual de manutenção consiste em fazer inspeção geral no sistema poço-bomba, analisar e interpretar os dados e informações do registro diário e mensal e avaliar o desempenho do sistema.

A inspeção geral no sistema, realizada em simultaneidade com as atividades previstas no programa de operação (ver capítulo III), consiste em:

- retirar a bomba do poço e fazer revisão geral do conjunto motor-bomba, procedendo aos reparos necessários;
- medir a profundidade real do poço;
- executar serviços de limpeza ou recondicionamento do poço, se necessário;
- reinstalar a bomba e fazer teste expedito de eficiência do conjunto.

Na avaliação de desempenho do sistema poço-bomba torna-se imprescindível o enlace operação-manutenção, de modo a elaborar uma lista de prováveis problemas que poderão ocorrer nos anos seguintes, classificando-os de acordo com os fatores que possam vir a afetar o sistema, ou seja: os fatores naturais (composição físico-química da água, fenômenos hidrológicos regionais e outros), os fatores ligados às características de construção do poço e os fatores decorrentes do grau de eficiência do conjunto de bombeamento. Uma vez feita a avaliação de conjunto do sistema, os coordenadores tratarão de revisar os programas iniciais orientando, agora, as atividades de operação e manutenção de modo mais seguro, posto que já existe uma história documentada.

registro diário de manutenção - bomba com motor diesel

mês/ ano

1 . identificação

n. poço	município	local			
proprietário		ano	profundidade (m)	Ø (mm)	aqüífero captado

2 . características do conjunto motor/ bomba

bomba	marca			tipo	ano	n. patrimônio
Ø rotor (mm)	Ø sucção (mm)	Ø recalque (mm)	n. estágios	lubrificante	tipo	troca a cada (meses)
motor	marca	modelo		ano	n. patrimônio	potência (CV)
tensão (V)	corrente	de partida (A)	de trabalho (A)	velocidade (rpm)	tipo de graxa	troca a cada (meses)
instalação	responsável		data	prof. do crivo (m)	vazão (m^3/h)	ND (m)
duração teste (h)	Ø tubulação da água (mm)			altura manométrica (m)		

3 . controle

dia	horas func.	vol. prod. (m^3)	consumo comb. (l)	ocorrência/ motivo (*)	dia	horas func.	vol. prod. (m^3)	consumo comb. (l)	ocorrência/ motivo (*)
1					17				
2					18				
3					19				
4					20				
5					21				
6					22				
7					23				
8					24				
9					25				
10					26				
11					27				
12					28				
13					29				
14					30				
15					31				
16									

(*) anotar toda e qualquer anormalidade observada tanto no conjunto motor/ bomba como no funcionamnto do poço

4 . serviços executados

data	tipo de serviço ou reparo	responsável

encarregado	supervisor	data

registro diário de manutenção - bomba de motor elétrico

mês/ ano

1 . identificação

n. poço	município		local		
proprietário		ano	profundidade (m)	Ø (mm)	aqüífero captado

2 . características do conjunto motor/ bomba

bomba		marca			tipo		ano	n. patrimônio
Ø rotor (mm)	Ø sucção (mm)	Ø recalque (mm)	lubrificante	tipo			troca a cada (meses)	
motor		marca			modelo		n. patrimônio	potência (CV)
tensão (V)	corrente	de partida (A)	de trabalho (A)		velocidade (rpm)	tipo de graxa	troca a cada (meses)	
instalação	responsável		data		hm total (m)	vazão (m³/h)	ND (m)	duração (h)
profundidade do crivo (m)					Ø tubulação da água (mm)		hm (m)	

3 . controle de manutenção

dia	horas func.	consumo de energia (kwh)			corrente de trabalho (A)	dia	horas func.	consumo de energia (kwh)			corrente de trabalho (A)
		leitura inicial	leitura final	consumo				leitura inicial	leitura final	consumo	
1						17					
2						18					
3						19					
4						20					
5						21					
6						22					
7						23					
8						24					
9						25					
10						26					
11						27					
12						28					
13						29					
14						30					
15						31					
16											

4 . ocorrências e serviços executados (*)

data	tipo de ocorrência ou serviço	responsável

(*) anotar toda e qualquer anormalidade observada tanto no conjunto motor/ bomba como no funcionamnto do poço

encarregado	supervisor	data

registro diário de manutenção - motor/ compressor

mês/ ano

1 . identificação

n. poço	município	local		
proprietário	ano	profundidade (m)	Ø (mm)	aqüífero captado

2 . características do conjunto motor/ compressor

compressor	marca	modelo	ano	n. patrimônio
pressão de arranque (A)	pressão de trabalho (A)	rotação (rpm)	ar efetivo (m^3/h)	manômetro (lb/pol²)
motor	marca	modelo	ano	n. patrimônio
potência (CV)	tensão (V)	corrente de partida (A)	de trabalho (A)	velocidade (rpm)
tipo de graxa		troca de cada (meses)		
instalação	data	responsável		
tubo de água	Ø (mm)	prof. (m)	material	
tubo de ar	Ø (mm)	prof. (m)	material	
vazão (m^3/h)		ND (m)	duração do teste (h)	

3 . controle

dia	horas func.	vol. prod. (m^3)	p. trab. lb/pol²	ocorrência/ motivo (*)	dia	horas func.	vol. prod. (m^3)	p. trab. lb/pol²	ocorrência/ motivo (*)
1					17				
2					18				
3					19				
4					20				
5					21				
6					22				
7					23				
8					24				
9					25				
10					26				
11					27				
12					28				
13					29				
14					30				
15					31				
16									

(*) anotar toda e qualquer anormalidade observada tanto no conjunto motor/ bomba como no funcionamnto do poço

4 . serviços executados

data	tipo de serviços ou reparos	responsável

encarregado	supervisor	data

controle mensal de manutenção

mês/ ano

1 . identificação

n. poço	município		local		
proprietário	ano	profundidade (m)	Ø (mm)	aqüífero captado	
equipamento instalado	tipo		potência do motor (CV)	prof. do crivo (m)	
tubulação de água	Ø (mm)		lançamento (m)		

2 . volume extraído, tempo de funcionamento e consumo de energia

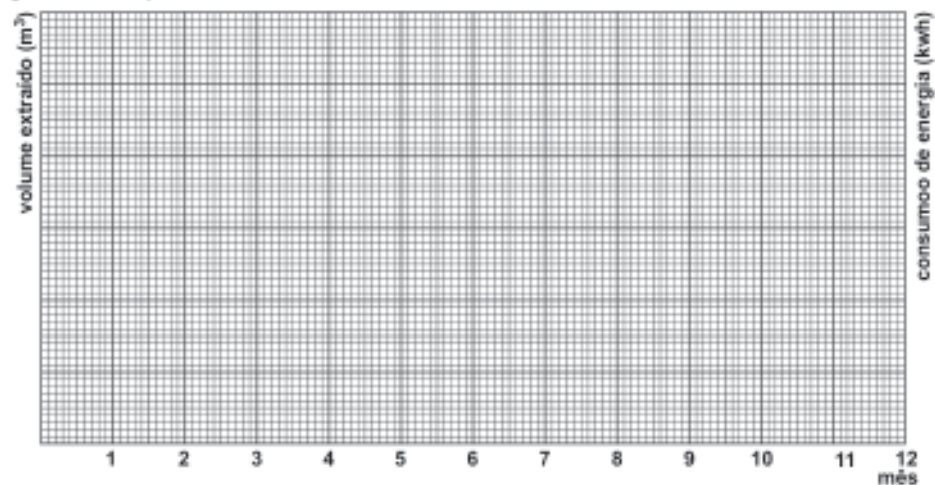
dados	mês/ ano											
funcionamento (dia)												
funcionamento (h)												
vol. mensal (m^3)												
cons. mensal (kwh)												
Q m. mensal (m^3/h)												

gráfico de acompanhamento

volume extraído (m^3)

consumoo de energia (kwh)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

mês

3 . manutenção

tipo	(1) preventiva	(2) corretiva	(3) emergência

data	tipo	serviço executado	responsável

4 . observações e recomendações

responsável	supervisor	data

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam registrar seu reconhecimento e agradecimentos a

- Ivanir Borella Mariano e Flávio Terra Barth, responsáveis pelo Serviço de Águas Subterrâneas e pela Diretoria de Planejamento e Controle do Departamento de Águas e Energia Elétrica, cujo apoio e estímulo foram decisivos na execução deste trabalho;
- Ana Elena Salvi e Armando Fava Filho, arquitetos, responsáveis pelo projeto gráfico dos formulários padronizados;
- Julce Mary Cornelsen, bibliotecária, pelo diligente trabalho de recuperação e organização bibliográfica.

Companhia de Engenharia Rural da Bahia - CERB
Secretaria de Saneamento
Salvador - Bahia

Arnaldo Correia Ribeiro, Emilson Sodré Mendonça,
Genalson Barretto Pereira, Giorgio Novaro Losapio

Companhia Nordestina de Sondagens e Perfuração - CONESP
Recife - Pernambuco

Sylvio Péricles de Barros Oliveira, José Albuquerque Rocha,
Osvaldo Costa.

Companhia Rio Grandense de Saneamento - CORSAN
Porto Alegre - Rio Grande do Sul

Abrão Hausman, Arnaldo Brum, Bruno Lichtenstein

Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA
Belo Horizonte - Minas Gerais

Antonio de Las Casas, Marcelo Galo

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP
São Paulo - São Paulo.

Carlos Eduardo Quaglia Giampá

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
São Paulo - São Paulo

Carlos Celso do Amaral e Silva

Companhia T. Janer, Comércio e Indústria
São Paulo - São Paulo

Edgard Dias Falcão Filho, Celso Bairão

Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto - DAERP
Ribeirão Preto - São Paulo

Omar Coppola

Curso Internacional de Hidrologia Subterrânea
Barcelona - Espanha

Emílio Custodio

Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Departamento de Geologia e Mineralogia
Ribeirão Preto - São Paulo

Osmar Sinelli, Adônis de Souza

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC
Belo Horizonte - Minas Gerais

Adelbani Braz da Silva, Waldemir Barbosa da Cruz,
Fernando Gomes Jardim, Carlos Alberto de Mello Peixoto

Fundação Serviços de Saúde Pública - FSESP
Belo Horizonte - Minas Gerais

Fábio Máximo Lenzoni

Instituto Geológico
São Paulo - São Paulo

Sérgio Mezzalira

BIBLIOGRAFIA

1. AMEZCUA GARCIA, J. Operación y mantenimiento. In: ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. **Bombas para agua potable**. dic. 1966. cap. 8. (OMS. Publicación Científica, 145)

2. BARNES, G. E. Recapitulación de conceptos básicos sobre bombas centrífugas. In: ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. **Bombas para agua potable**. dic. 1966. cap. 1. (OMS. Publicación Científica, 145)

3. BENNISON, E. W. Fundamentals of water well operation and maintenance. **Jour. AWWA, 45** (3): 252-8, mar. 1953.

4. CAMPBELL, M. D. & LAEHR. J. H. Well efficiency and maintenance. In:________ . **Water well technology.** New York, McGraw-Hill, 1973. cap. 13, p. 309-76.

5. CASTANY, G. **Tratado pratico de las aguas subterráneas**. Barcelona, Omega, 1971.

6. COMPANHIA DE ENGENHARIA RURAL (Bahia) SEIM. **Manual de manutenção e operação para sistemas de abastecimento de água em pequenas comunidades.** 1979.

7. CUNHA REBOUÇAS, A. da. Ground water in Brazil. In: CONGRESSO MUNDIAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 3, São Paulo, jun/jul. 1978.

8. CUSTODIO, E. & RAMÓN LLAMAS, M. **Hidrologia subterránea.** Barcelona, Omega, 1976. 2v.

9. GIBSON & SINGER. Operating problems, records, and maintenance. In: ________ . **Small wells manual.** Washington, USAID, 1969. c. 8, p. 106-30.

10. JOHNSTON PUMP. **The vertical pump.** Pasadena, 1954. Section II

11. KOENIG, Louis. Survey and analysis of well stimulation performance. **Jour. AWWA, 52** (3): 333-50, mar. 1960.

12. KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. A**nalysis and evaluation of pumping data**. Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement Wageningen, 1970.

13. SYMONS, G. E. Source of supply: well, pollution, operation, maintenance. **Water & Sewage Works**, mar. 1954.

14. SABO, Paul. Kalamazoo, Mich **Jour. AWWA**, jul. 1957. (Developments in Well Production and Maintenance - Panel Discussion)

15. UOP JONHSON DIVISION. (Minnesota). **Corrosion and incrustation of well screens.** apr. 1967. (Practical Information Water Problems, 834).

16. WATER systems basics. **Ground Water Age**, aug. 1979.

17. WELL and pump cost factors, operation, and maintenance. In: **GROUND water manual**. s. L. p., Department of The Interior, 1977.

18. ZUBICARAY, M. V. Pruebas. In: ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. **Bombas para agua potable**. dic.1966. cap. 3. (OMS. Publicación Científica, 145).

1ª edição (1980)

departamento de águas e energia elétrica
diretoria de planejamento e controle
divisão de controle

seção de programação visual e arquitetura

arte final
adelaide nirce reis
cecília de barros aranha

composição
rosangela faria valadão castro

impressão
imprensa oficial do estado s. a.

projeto gráfico
arqto. armando fava filho

3ª edição (2007)

departamento de águas e energia elétrica
diretoria de recursos hídricos

organização do texto em meio eletrônico
antonia janeth de lima castro
armando narumiya
josé eduardo campos
tsutomu ijichi

adaptação do projeto gráfico
duo design
arqto. deodato de mello freire júnior
arqto. antonio carlos felix